



(10) **DE 10 2015 107 275 A1** 2016.11.17

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 107 275.0**

(22) Anmeldetag: **11.05.2015**

(43) Offenlegungstag: **17.11.2016**

(51) Int Cl.: **H05B 3/36 (2006.01)**

**B64D 15/16 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,  
51147 Köln, DE**

(74) Vertreter:  
**REHBERG HÜPPE + PARTNER Patentanwälte  
PartG mbB, 37073 Göttingen, DE**

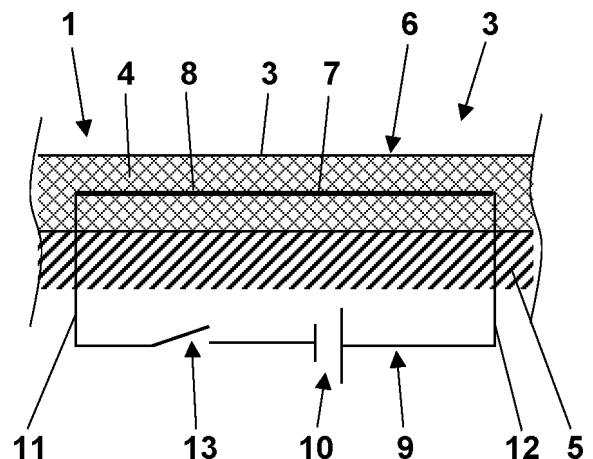
(72) Erfinder:  
**Riemenschneider, Johannes, Dr., 38106  
Braunschweig, DE; Mendig, Christian, 38104  
Braunschweig, DE; Sinapius, Michael, Prof.  
Dr., 37085 Göttingen, DE; Endres, Matthias,  
38114 Braunschweig, DE; Schulz, Martin, 38108  
Braunschweig, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zum Enteisen einer Oberfläche eines aerodynamischen Körpers**

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung (3) zum Enteisen einer Oberfläche (6) eines aerodynamischen Körpers (1) weist eine die Oberfläche (6) ausbildende und sich vollflächig an einer formstabilen Unterkonstruktion (5) abstützende elastisch verformbare Schicht (4) und einen die elastische Schicht (4) verformenden Aktuator auf. Der Aktuator umfasst einen in die elastische Schicht (4) eingebetteten Formkörper (7) aus einer Formgedächtnislegierung (8), der beim Erwärmen längs der Oberfläche (6) kontrahiert, und eine Heizeinrichtung (9) zum Erwärmen des Formkörpers (7).



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Enteisen einer Oberfläche eines aerodynamischen Körpers, wobei die Vorrichtung die Merkmale des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1 aufweist.

**[0002]** Bei dem aerodynamischen Körper kann es sich insbesondere um einen Flügel, z. B. um einen Tragflügel eines Flugzeugs, einen Drehflügel, so wie ein Rotorblatt eines Hubschraubers oder einer Windkraftanlage, oder um irgendeinen anderen Körper handeln, der eine aerodynamisch wirksame Fläche aufweist.

**[0003]** Soweit ein aerodynamischer Körper bei tiefen Temperaturen zum Einsatz kommt, besteht die Gefahr, dass er durch ausfrierende Luftfeuchtigkeit oder anfrirenden Niederschlag vereist. Hierdurch wird die aerodynamische Funktion des Körpers beeinträchtigt und im Extremfall beseitigt. Hinzu kommt eine mit der Eisschicht zunehmende Masseerhöhung des aerodynamischen Körpers. Weiterhin gehen von herabfallenden oder abgeschleuderten dickeren Eisschichten nicht unerhebliche Zerstörungs- und Verletzungsgefahren aus.

## STAND DER TECHNIK

**[0004]** Zum Enteisen einer Oberfläche eines aerodynamischen Körpers, d. h. zum Entfernen des Eises von der vereisten Oberfläche, kann die Oberfläche erwärmt werden, so dass das Eis abschmilzt. Mit einer zumindest dann, wenn Vereisungsbedingungen herrschen, dauerhaften Erwärmung der Oberfläche kann das Vereisen der Oberfläche auch von vornherein verhindert werden. Dieses Vorgehen verbraucht jedoch erhebliche Energie, wenn beispielsweise elektrische Heizeinrichtungen eingesetzt werden. Wenn warme Abgase der Triebwerke eines Flugzeugs zum Beheizen der Oberfläche verwendet werden, ist hierfür erheblicher konstruktiver Aufwand zu leisten. Zudem steht solche Abwärme z. B. bei einer Windkraftanlage in der Regel nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung.

**[0005]** Neben einer thermischen Enteisung ist die mechanische Enteisung von Oberflächen aerodynamischer Körper bekannt. Zum Beispiel werden hierfür elastische Schläuche in die Oberfläche eingelassen. Bei einer Beaufschlagung der Schläuche mit einem Fluid, beispielsweise Druckluft, dehnen sich die Druckschläuche aus. Die resultierende Verformung der Oberfläche führt zu einem Abplatzen des Eises. Eine entsprechende Vorrichtung zum Enteisen von Rotorblättern einer Windkraftanlage geht aus der DE 20 2011 105 676 U1 hervor. Nachteilig bei

der Enteisung mit druckbeaufschlagten Schläuchen ist, dass die Schläuche auch durch die aerodynamischen Lasten auf den aerodynamischen Körper verformt werden, wenn sie nicht ständig unter Druck gehalten werden. Da sie zugleich erheblichen thermischen Wechselbelastungen ausgesetzt sind, ist die Standfestigkeit derartiger Schläuche zum Enteisen von Tragflächen an Flugzeugen begrenzt. Zudem muss für die Integration der Schläuche in die jeweilige Oberfläche erheblicher Bauraum in dem aerodynamischen Körper vorgehalten werden.

**[0006]** Aus der US 5,686,003 A1 ist das Ausbilden einer zum Vereisen neigenden Oberfläche eines aerodynamischen Körpers aus einem Blech aus einer Formgedächtnislegierung bekannt. Das Blech ist auf einer Heizmatte angeordnet, die sich wiederum auf einem elastischen Körper als Unterkonstruktion abstützt. Durch Erwärmen des Blechs mit Hilfe der Heizmatte kontrahiert die Formgedächtnislegierung in Richtung der Überströmung des Körpers, so dass aufgewachsenes Eis abplatzt. Bei der Kontraktion des Blechs aus der Formgedächtnislegierung wird der darunter liegende Formkörper elastisch verformt. Dadurch wird eine Rückstellkraft auf das Blech aus der Formgedächtnislegierung ausgeübt, um dieses nach dem Abkühlen wieder in seine ursprüngliche Form zurückzubringen. So ist eine Formgedächtnislegierung mit einem Einweg-Effekt ausreichend. Zum Ausbilden dieser bekannten Vorrichtung zum Enteisen muss der gesamte Aufbau des aerodynamischen Körpers entsprechend hergerichtet werden. Zudem wird viel Formgedächtnislegierung benötigt, und diese ist der Anströmung des aerodynamischen Körpers direkt ausgesetzt.

**[0007]** Weiterhin geht aus der US 5,686,003 A1 eine Vorrichtung zum Enteisen einer Oberfläche eines aerodynamischen Körpers mit den Merkmalen des Oberbegriffs des unabhängigen Patentanspruchs 1 hervor. Bei dieser Vorrichtung ist die zu enteisende Oberfläche aus einer elastisch verformbaren Haut ausgebildet, die mit einem Streifen aus Formgedächtnislegierung in Reihe geschaltet und über eine Unterkonstruktion aus Rippen oder Stegen gespannt ist. Dabei ist die Spannung der verformbaren Haut zunächst so, dass sich die Haut ohne Durchbiegung über die Stege oder Rippen hinweg erstreckt. Wenn jedoch der Streifen aus der Formgedächtnislegierung mit einer darunter liegenden Heizmatte erwärmt wird und in Richtung der Überströmung des aerodynamischen Körpers kontrahiert, wird die Haut so stark gespannt, dass sie durch die darunter liegenden Rippen oder Stege deformiert wird. Aufgrund dieser Deformation platzt zuvor auf die Haut aufgewachsenes Eis ab. Auch hier reicht eine Formgedächtnislegierung mit Einweg-Effekt aus, weil die Spannung der elastisch verformten Haut den Streifen aus der Formgedächtnislegierung beim Abkühlen zurückverformt. Es besteht jedoch die Gefahr, dass Deforma-

tionen der nur punktuell an den Rippen oder Stegen abgestützten elastischen Haut auch durch aerodynamische Lasten auf den aerodynamischen Körper hervorgerufen werden, so dass das aerodynamische Profil des aerodynamischen Körpers nicht stabil ist. Zudem baut die bekannte Vorrichtung nicht unerheblich auf dem aerodynamischen Körper auf, und es wird immer noch viel von der Formgedächtnislegierung benötigt.

#### AUFGABE DER ERFINDUNG

**[0008]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Enteisen einer Oberfläche eines aerodynamischen Körpers aufzuzeigen, die nur minimalen Bauraum des Körpers beansprucht und die auch bei hohen aerodynamischen Lasten nicht zu einer Deformation des aerodynamischen Körpers führt.

#### LÖSUNG

**[0009]** Die Aufgabe der Erfindung wird durch eine Vorrichtung zum Enteisen einer Oberfläche eines aerodynamischen Körpers mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst. Die abhängigen Patentansprüche betreffen bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Patentanspruch 15 ist auf einen Flügel mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung an seiner Vorderkante gerichtet. Bei dem Flügel kann es sich insbesondere um einen Tragflügel eines Flugzeugs oder einen Drehflügel, d. h. das Rotorblatt eines Rotors oder einer Windkraftanlage, handeln.

#### BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0010]** Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Enteisen einer Oberfläche eines aerodynamischen Körpers weist eine die Oberfläche ausbildende und sich vollflächig auf einer formstabilen Unterkonstruktion abstützende elastisch verformbare Schicht sowie einen die elastische Schicht verformenden Aktuator auf. Der Aktuator umfasst einen in die elastische Schicht eingebetteten Formkörper aus einer Formgedächtnislegierung, der beim Erwärmen längs der Oberfläche kontrahiert, und eine Heizeinrichtung zum Erwärmen des Formkörpers. Durch die Kontraktion des Formkörpers beim Erwärmen wird die elastische Schicht, in die der Formkörper eingebettet ist, ausreichend deformiert, um auf die elastische Schicht aufgewachsenes Eis abzusprengen. Dafür reicht eine vergleichsweise dünne elastische Schicht von einem oder wenigen Millimetern Dicke aus, und der zum Enteisen der gesamten elastischen Schicht benötigte Anteil der Fläche der elastischen Schicht, der auch von dem Formkörper aus der Formgedächtnislegierung abgedeckt wird, ist sehr klein. Entsprechend muss auch nur eine geringe Masse aus der Formgedächtnislegierung beim Erwärmen des Formkörpers

mit der Heizeinrichtung erwärmt werden. Dies ist energetisch günstig.

**[0011]** Insbesondere kann der Formkörper linien-, ring-, maschen-, netz- oder gitterförmig sein. Das heißt, der Formkörper besteht im Wesentlichen aus linienförmigen Abschnitten, die in vergleichsweise großen seitlichen Abständen in die elastisch verformbare Schicht eingebettet sind. Der relative Anteil der Fläche des Formkörpers gegenüber der Fläche der Schicht kann so auf wenige Prozent, sogar auf weniger als 1 Prozent beschränkt sein.

**[0012]** Bei seinem Erwärmen kontrahiert der Formkörper aus der Formgedächtnislegierung nicht nur in der Hauptstreckungsrichtung seiner linienförmigen Abschnitte, sondern er erwärmt auch die angrenzende elastisch verformbare Schicht und das darauf aufgewachsene Eis, insbesondere längs seiner linienförmigen Abschnitte. Damit wird das Absprengen des Eises erleichtert, und es werden längs der linienförmigen Abschnitte des Formkörpers verlaufende Sollbruchlinien für das von der deformierten Schicht abplatzende Eis ausgebildet. Auf diese Weise kann die Größe der von der Oberfläche abplatzenden Eisstücke kontrolliert, d. h. begrenzt werden. Die Erleichterung des Absprengens des Eises, erfordert nicht, dass es auch nur lokal an- oder sogar aufgeschmolzen wird. So lässt sich Eis bei zum Beispiel  $-1^{\circ}\text{C}$  schon deutlich leichter brechen und absprengen als bei  $-10^{\circ}\text{C}$ . Das Schmelzen von Eis verbraucht sehr viel Energie, die eingespart werden kann, wenn das Eis selbst über den linienförmigen Abschnitten des Formkörpers zur Ausbildung der Sollbruchlinien nur bis nahe seiner Schmelztemperatur erwärmt wird.

**[0013]** Beispielsweise kann der Formkörper einen zickzack- oder mäanderförmigen Verlauf längs der Oberfläche aufweisen. Hieraus resultiert dann eine zickzack- oder mäanderförmige Sollbruchlinie des auf die Oberfläche aufgewachsenen Eises. Gerade Abschnitte des Verlaufs können dabei eine typische Länge von einem bis zu wenigen, beispielsweise maximal 5 cm, aufweisen.

**[0014]** Vorzugsweise weist der Formkörper einen geschlossenen Ring oder eine geschlossene Masche auf. Dabei muss der Ring oder die Masche nicht geschlossen aus der Formgedächtnislegierung ausgebildet sein. Vielmehr kann der Ring oder die Masche durch ein Zugelement aus einem anderen Material, insbesondere einem nicht elektrisch leitfähigen Material, geschlossen sein. In jedem Fall führt die Kontraktion des Formkörpers zu einer Verringerung des Durchmessers der Masche bzw. des Rings und damit bei nicht zu großem absoluten Durchmesser des Rings zu einer Deformation der elastischen Schicht über die gesamte von dem Ring oder Masche umschlossene Fläche hinweg.

**[0015]** Konkret kann der geschlossene Ring oder die geschlossene Masche einen Durchmesser von 50 mm bis 200 mm, d. h. in der Größenordnung von einem Dezimeter aufweisen.

**[0016]** Mit dem Erwärmen des Rings oder der Masche des Formkörpers wird eine ring- bzw. maschenförmige Sollbruchlinie in dem aufgewachsenen Eis ausgebildet. Durch die Verformung der Oberfläche wird diese Sollbruchlinie wirksam, und ein Eisstück von maximaler der von dem Ring bzw. der Masche umschlossenen Fläche wird abgesprengt.

**[0017]** Der geschlossene Ring oder die geschlossene Masche kann Teil eines in die elastische Schicht eingebetteten Netzes oder Gitters sein. Dabei können alle Ringe oder Maschen des Netzes oder Gitters Teil des Formkörpers aus der Formgedächtnislegierung sein. Das Netz oder Gitter kann aber auch weitere Ringe oder Maschen aufweisen, die nicht aus der Formgedächtnislegierung ausgebildet sind und/oder die nicht mit der Heizeinrichtung erwärmbar sind.

**[0018]** Die Formgedächtnislegierung kann eine einfache Formgedächtnislegierung mit einem Einweg-Effekt sein. Der Formkörper kann beim Abkühlen allein durch die Elastizität der Schicht, in die er eingebettet ist, zurückgestellt werden. Besondere Anforderungen an die Formgedächtnislegierung stellt die vorliegende Erfindung auch in sonstiger Hinsicht nicht. Es versteht sich zwar, dass eine große relative Kontraktion beim Erwärmen des Formkörpers längs seiner linienförmigen Abschnitte vorteilhaft ist. Die Formgedächtnislegierung muss jedoch keine besonderen Eigenschaften, wie beispielsweise hohe Korrosionsbeständigkeit oder dergleichen, aufweisen, da sie durch ihre Einbettung in die elastische Schicht geschützt ist.

**[0019]** Die elastische Schicht selbst wird vorzugsweise aus einem polymeren Elastomerwerkstoff ausgebildet. Es versteht sich, dass das Material der elastischen Schicht an die auftretenden Abrasions-, Temperatur-, UV- und aerodynamischen Belastungen, die in der konkreten Anwendung des aerodynamischen Körpers auftreten können, anzupassen ist. Dies stellt für den Fachmann aber keine Schwierigkeit dar, da die elastische Schicht durch ihre vollflächige Abstützung an der formstabilen Unterkonstruktion und ihre geringe Dicke eine hohe Formstabilität aufweist.

**[0020]** Die Schicht kann zwei stoffschlüssig miteinander und mit dem dazwischen liegenden Formkörper verbundene Teilschichten aufweisen. So kann zunächst die eine Teilschicht auf die Unterkonstruktion auflaminiert werden, dann der Formkörper und anschließend die andere Teilschicht. Der Formkörper kann aber auch mit einer der beiden Teilschichten zusammen auflaminiert werden. Ebenso ist es möglich, die gesamte Schicht mit dem eingebetteten Formkörper

auf die Unterkonstruktion aufzulaminieren. Weiterhin ist es möglich, eine oder beide Teilschichten in Form eines zunächst flüssigen Lacks aufzubringen.

**[0021]** Die beiden Teilschichten können jeweils gleiche, aber auch unterschiedliche Schichtdicken aufweisen. Dies gilt auch ganz generell unabhängig davon, ob die Schicht in Form von Teilschichten ausgebildet ist oder nicht. D. h. eine Dicke der Schicht über dem nicht erwärmten Formkörper kann ebenso wie eine Dicke der Schicht unter dem nicht erwärmten Formkörper etwa 0,5 bis 3 mm dick sein, wobei gleiche Dicken möglich, aber nicht zwingend sind.

**[0022]** Die Heizeinrichtung des Aktuators der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann elektrische Anschlüsse umfassen, wobei ein zwischen den Anschlüssen fließender Strom durch den Formkörper fließt und den dabei selbst als Widerstandsheizelement dienenden Formkörper erwärmt. Das heißt, dass der Aktuator keine separate Heizmatte oder dergleichen zum Erwärmen des Formkörpers aufweisen muss, sondern den Formkörper mit dem durch den Formkörper fließenden Strom direkt beheizen kann. Der dabei fließende Strom kann sowohl zur Überwachung des gewünschten Betriebs der erfindungsgemäßen Vorrichtung als auch zum Überwachen der Integrität des Formkörpers erfasst und mit Grenzwerten verglichen werden.

**[0023]** Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Ohne dass hierdurch der Gegenstand der beigefügten Patentansprüche verändert wird, gilt hinsichtlich des Offenbarungsgehalts der ursprünglichen Anmeldungsunterlagen und des Patents Folgendes: weitere Merkmale sind den Zeichnungen – insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung – zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen.

**[0024]** Die in den Patentansprüchen und der Beschreibung genannten Merkmale sind bezüglich ihrer Anzahl so zu verstehen, dass genau diese Anzahl oder eine größere Anzahl als die genannte Anzahl vorhanden ist, ohne dass es einer expliziten Verwendung des Adverbs "mindestens" bedarf. Wenn also beispielsweise von einem Ring oder eine Masche die Rede ist, ist dies so zu verstehen, dass genau ein Ring oder eine Masche, zwei Ringe oder zwei Maschen oder mehr Ringe oder mehr Maschen vorhanden sind. Die in den Patentansprüchen genannten Merkmale können durch andere Merkmale ergänzt werden oder die einzigen Merkmale sein, aus denen das jeweilige Erzeugnis besteht.

**[0025]** Die in den Patentansprüchen enthaltenen Bezugszeichen stellen keine Beschränkung des Umfangs der durch die Patentansprüche geschützten Gegenstände dar. Sie dienen lediglich dem Zweck, die Patentansprüche leichter verständlich zu machen.

#### KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

**[0026]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter bevorzugter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

**[0027]** Fig. 1 zeigt einen Längsschnitt durch einen aerodynamischen Körper mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Enteisen.

**[0028]** Fig. 2 ist ein vergrößertes Detail der Vorrichtung gemäß Fig. 1.

**[0029]** Fig. 3 zeigt eine spezielle Ausführungsform der Vorrichtung zum Enteisen in einer Draufsicht.

**[0030]** Fig. 4 ist ein Schnitt durch die aktivierte Vorrichtung zum Enteisen gemäß Fig. 3.

**[0031]** Fig. 5 zeigt eine zweite spezielle Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Enteisen in einer Draufsicht.

**[0032]** Fig. 6 zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Enteisen in einer Draufsicht; und

**[0033]** Fig. 7 zeigt noch eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Enteisen in einer Draufsicht.

#### FIGURENBESCHREIBUNG

**[0034]** Der in Fig. 1 in einem Längsschnitt längs seiner Anströmung dargestellte aerodynamische Körper 1 ist an seiner abgerundeten Vorderkante 2 mit einer Vorrichtung 3 zum Enteisen versehen. Die Vorrichtung 3 dient zum Entfernen von Eis, das sich an der

Vorderkante 2 bildet und auf der Vorderkante 2 des Körpers 1 aufwächst. Die Vorrichtung 3 umschließt den gesamten Bereich der Vorderkante 2, in dem eine Bildung von Eis, d. h. ein Vereisen bei der Verwendung des aerodynamischen Körpers 1, in relevantem Umfang auftritt.

**[0035]** Fig. 2 ist eine vergrößerte schematische Darstellung der Vorrichtung 3 zum Enteisen. Die Vorrichtung 3 umfasst eine elastisch verformbare Schicht 4, die sich vollflächig auf einer formstabilen Unterkonstruktion 5 abstützt. Die elastische Schicht 4 bildet im Bereich der Vorrichtung 3 die Oberfläche 6 des aerodynamischen Körpers 1 aus, an der Eis aufwächst und die mit der Vorrichtung 3 zu enteisen ist. In die massive elastische Schicht 4 ist ein Formkörper 7 aus einer Formgedächtnislegierung 8 eingebettet. Zusammen mit einer Heizeinrichtung 9, die den Formkörper 7 erwärmt, so dass er längs der Oberfläche 6 kontrahiert, bildet die Heizeinrichtung 9 einen Aktuator zum Verformen der elastischen Schicht 4. Die Heizeinrichtung 9 umfasst eine Spannungsquelle 10, die hier als Gleichspannungsquelle angedeutet ist, aber auch eine Wechsellspannungsquelle sein kann, und elektrische Anschlüsse 11 und 12 zum Anschließen des Formkörpers 7 an die Spannungsquelle 10, wobei der Stromkreis über einen Aktivierungsschalter 13 geschlossen wird. Nach Schließen des Aktivierungsschalters 13 fließt ein von der Spannungsquelle 10 getriebener Strom durch den Formkörper 7. Der Formkörper 7 wirkt dabei als Widerstandsheizelement der Heizeinrichtung 9 und wärmt sich infolge des fließenden Stroms selbst auf. Aufgrund der Ausbildung des Formkörpers 7 aus der Formgedächtnislegierung 8 kontrahiert der Formkörper 7 durch das Aufwärmen. Dadurch wird die elastische Schicht 4 verformt, so dass auf der Oberfläche 6 aufgewachsenes Eis abplatzt. Zudem wird die Oberfläche 6 direkt oberhalb des Formkörpers 7 lokal erwärmt, wodurch sich Sollbruchlinien in dem Eis ausbilden, längs derer das Eis bricht, wenn sich die Schicht 4 verformt.

**[0036]** Die Draufsicht gemäß Fig. 3 illustriert, dass der Formkörper 7 ein geschlossener Ring 15 sein kann, wobei der Ring 15 nicht durchgängig aus der Formgedächtnislegierung 8 besteht, sondern durch ein zugsteifes Zugelement 14 geschlossen ist, das sich zwischen den elektrischen Anschlüssen 11 und 12 erstreckt. Das nicht elektrisch leitfähige Zugelement 14, das beispielsweise aus einem Faserverbundmaterial besteht, verhindert einen Kurzschluss zwischen den elektrischen Anschlüssen 11 und 12. Der Strom fließt so durch den gesamten Ring 15, soweit dieser aus der Formgedächtnislegierung 8 besteht, und heizt diesen auf, bis er kontrahiert. Zuvor wurde bereits die elastische Schicht 4 direkt über dem Ring 15 so erwärmt, dass sich längs des Rings 15 eine Sollbruchlinie in dem auf die Oberfläche 6 aufgewachsenen Eis ausgebildet hat. Entsprechend

platzt das Eis beim Verformen der Schicht **4** längs dieser Sollbruchlinie auf und von der Oberfläche **6** ab.

**[0037]** Fig. 4 illustriert, wie die Oberfläche **6** infolge der Kontraktion des Rings **15** verformt wird. Das Material der Schicht **4**, beispielsweise ein polymerer Elastomerwerkstoff, schiebt sich in dem Ring **15** zusammen, so dass seine Dicke über der Unterkonstruktion **5** anwächst, während diese Dicke um den Ring **15** herum abnimmt. Die elektrischen Anschlüsse **11** und **12** sowie die weiteren Teile der Heizeinrichtung **9** sind in Fig. 4 nicht dargestellt. Der Durchmesser des Rings **15** kann etwa 1 Dezimeter betragen, die Dicke der deformierten Schicht **4** einige Millimeter. Dabei kann der Formkörper **7** mittig, d. h. bei halber Dicke, in die unverformte elastische Schicht **4** eingebettet sein.

**[0038]** Fig. 5 zeigt eine andere Ausgestaltung des Formkörpers **7** bei der Vorrichtung **3**. Der Formkörper **7** weist hier einen zickzackförmigen Verlauf auf. Dabei kann jeder gerade Abschnitt des Formkörpers **7** ein bis wenige Zentimeter lang sein. Beim Anschließen der elektrischen Anschlüsse **11** und **12** an die Spannungsquelle wird auch in diesem Fall die elastische Schicht **4** oberhalb des Formkörpers **7** erwärmt und bildet so Sollbruchlinien aus, längs derer das aufgewachsene Eis aufbricht, wenn es infolge einer Deformation der elastischen Schicht **4** durch die Kontraktion des Formkörpers **7** längs der Oberfläche **6** abgesprengt wird.

**[0039]** Fig. 6 zeigt eine Ausführungsform der Vorrichtung **3**, bei der der Formkörper **7** mäanderförmig ausgebildet ist, wobei seine einzelnen geraden Abschnitte wieder ein bis wenige Zentimeter lang sind. Die grundsätzliche Funktion der Vorrichtung **3** unterscheidet sich nicht von der Ausführungsform gemäß Fig. 5.

**[0040]** Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 7 umfasst die Vorrichtung **3** ein Netz **16** mit einer Vielzahl von Maschen. Die in Fig. 7 mit dickerer Strichstärke dargestellten Maschen **17** sind dabei jeweils Formkörper **7** aus der Formgedächtnislegierung **8**. Das Netz **16** besteht aber nicht vollständig aus der Formgedächtnislegierung **8**. Über den Maschen **17** wird beim Erwärmen der Formkörper **7** die elastische Schicht **4** so weit angewärmt, dass sich Sollbruchlinien in dem auf die Oberfläche **6** aufgewachsenen Eis ausbilden. Bei der folgenden Verformung der Oberfläche **6** infolge der Kontraktion der Formkörper **7** bricht das Eis längs dieser Sollbruchlinien auf und löst sich von der Oberfläche **6** ab. Der Durchmesser der Maschen **17** liegt in der typischen Größenordnung eines Dezimeters.

**[0041]** Die Vorrichtung **3** umfasst nur wenig Formgedächtnislegierung im Bereich des bzw. der im Wesentlichen linienförmigen Formkörper **7**. Daher muss

nur wenig Masse erwärmt werden, um die Kontraktion des bzw. der Formkörper auszulösen. Gleichzeitig führt die linienförmige Ausbildung des bzw. der Formkörper zu der Ausbildung der Sollbruchlinien des auf die Oberfläche **6** aufwachsenden Eises. Weiterhin reicht für die Ausbildung des bzw. der im Wesentlichen linienförmigen Formkörper **7** eine Formgedächtnislegierung **8** mit Einweg-Effekt aus, weil die elastische Schicht **4** den bzw. die Formkörper nach dem Abkühlen durch ihre elastische Rückstellkraft wieder in seine bzw. ihre Ausgangsform zurückverformt.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	aerodynamischer Körper
<b>2</b>	Vorderkante
<b>3</b>	Vorrichtung
<b>4</b>	elastische Schicht
<b>5</b>	formstabile Unterkonstruktion
<b>6</b>	Oberfläche
<b>7</b>	Formkörper
<b>8</b>	Formgedächtnislegierung
<b>9</b>	Heizeinrichtung
<b>10</b>	Spannungsquelle
<b>11</b>	elektrischer Anschluss
<b>12</b>	elektrischer Anschluss
<b>13</b>	Betätigungsschalter
<b>14</b>	Zugelement
<b>15</b>	Ring
<b>16</b>	Netz
<b>17</b>	Masche

**ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 202011105676 U1 [0005]
- US 5686003 A1 [0006, 0007]

### Patentansprüche

1. Vorrichtung (3) zum Enteisen einer Oberfläche (6) eines aerodynamischen Körpers (1) mit
  - einer die Oberfläche (6) ausbildenden und sich an einer formstabilen Unterkonstruktion (5) abstützenden elastisch verformbaren Schicht (4) und
  - einem die elastische Schicht (4) verformenden Aktuator, wobei der Aktuator einen Formkörper (7) aus einer Formgedächtnislegierung (8), der beim Erwärmen längs der Oberfläche (6) kontrahiert, und eine Heizeinrichtung (9) zum Erwärmen des Formkörpers (7) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Formkörper (7) in die elastische Schicht (4) eingebettet ist, die sich vollflächig an der formstabilen Unterkonstruktion (5) abstützt.
2. Vorrichtung (3) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Formkörper (7) linien-, ring-, maschen-, netz- oder gitterförmig ist.
3. Vorrichtung (3) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Formkörper (7) einen zickzack- oder mäanderförmigen Verlauf aufweist.
4. Vorrichtung (3) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass gerade Abschnitte des Verlaufs des Formkörpers (7) eine Länge von 1 bis 5 cm aufweisen.
5. Vorrichtung (3) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Formkörper (7) einen geschlossenen Ring (15) der eine geschlossene Masche (17) aufweist.
6. Vorrichtung (3) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der geschlossene Ring (15) oder die geschlossene Masche (17) einen Durchmesser von 50 mm bis 200 mm aufweist.
7. Vorrichtung (3) nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der geschlossene Ring (15) oder die geschlossene Masche (17) Teil eines in die elastische Schicht (4) eingebetteten Netzes (16) oder Gitters ist.
8. Vorrichtung (3) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Netz (16) oder Gitter weitere Ringe oder Maschen aufweist, die nicht aus der Formgedächtnislegierung (8) ausgebildet sind und/oder die nicht mit der Heizeinrichtung (9) erwärmbar sind.
9. Vorrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Formgedächtnislegierung (8) einen Einweg-Effekt aufweist, wobei der Formkörper (7) beim Abkühlen

durch die Elastizität der elastischen Schicht (4) zurückgestellt wird.

10. Vorrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elastische Schicht (4) aus einem polymeren Elastomerwerkstoff ausgebildet ist.

11. Vorrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elastische Schicht (4) zwei stoffschlüssig miteinander und mit dem dazwischen liegenden Formkörper (7) verbundene Teilschichten aufweist.

12. Vorrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Dicke der elastischen Schicht (4) über dem nicht erwärmten Formkörper (7) 0,5 bis 3 mm beträgt.

13. Vorrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Dicke der elastischen Schicht (4) unter dem nicht erwärmten Formkörper (7) 0,5 bis 3 mm beträgt.

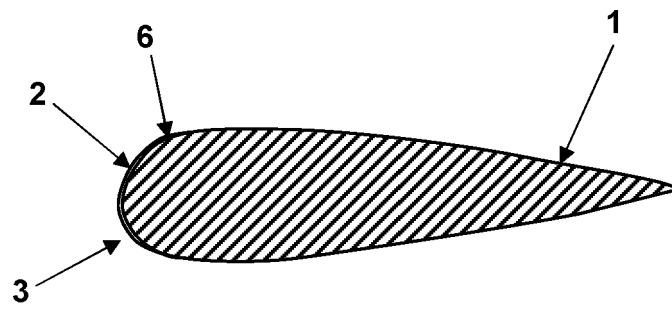
14. Vorrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Heizeinrichtung (9) elektrische Anschlüsse (11, 12) umfasst, wobei ein zwischen den elektrischen Anschlüssen (11, 12) fließender Strom durch den Formkörper (7) fließt und den als Widerstandsheizelement dienenden Formkörper (7) erwärmt.

15. Flügel mit einer Vorrichtung (3) nach einem der vorhergehenden Ansprüche an seiner Vorderkante (2).

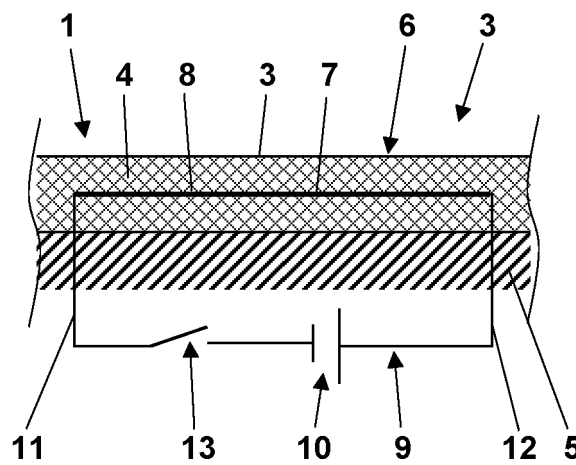
Es folgen 3 Seiten Zeichnungen



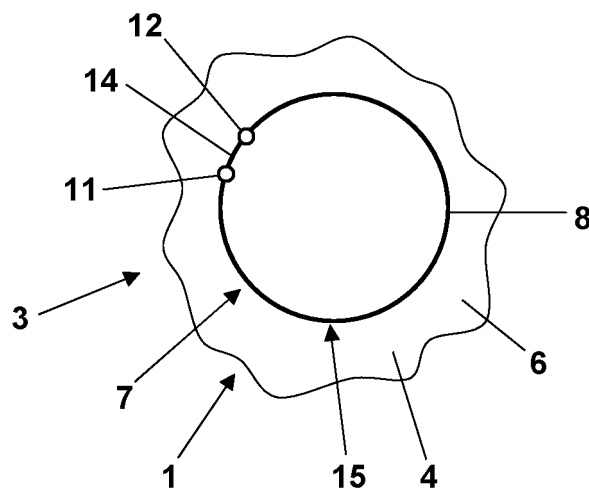
Anhängende Zeichnungen



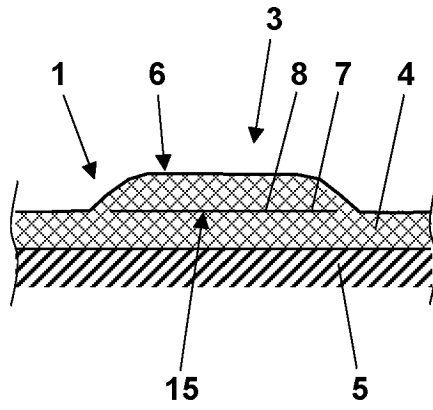
**Fig. 1**



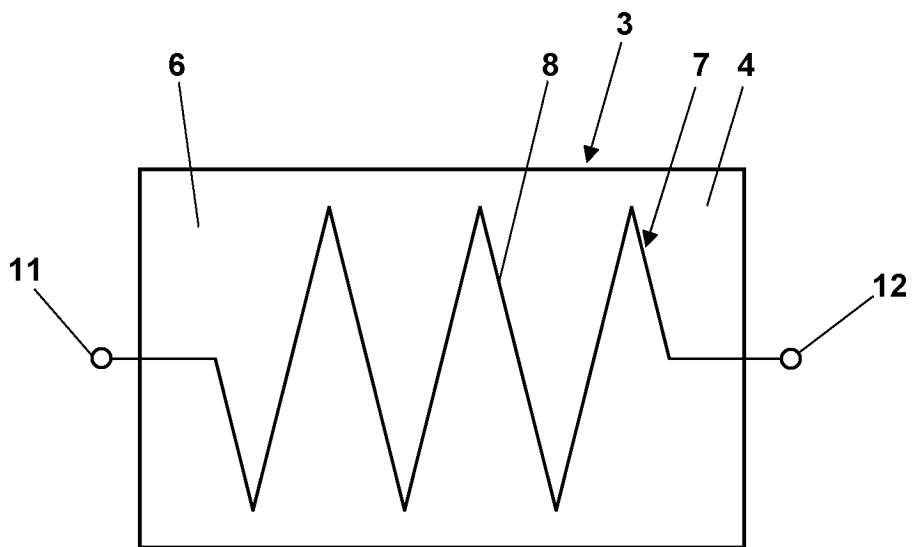
**Fig. 2**



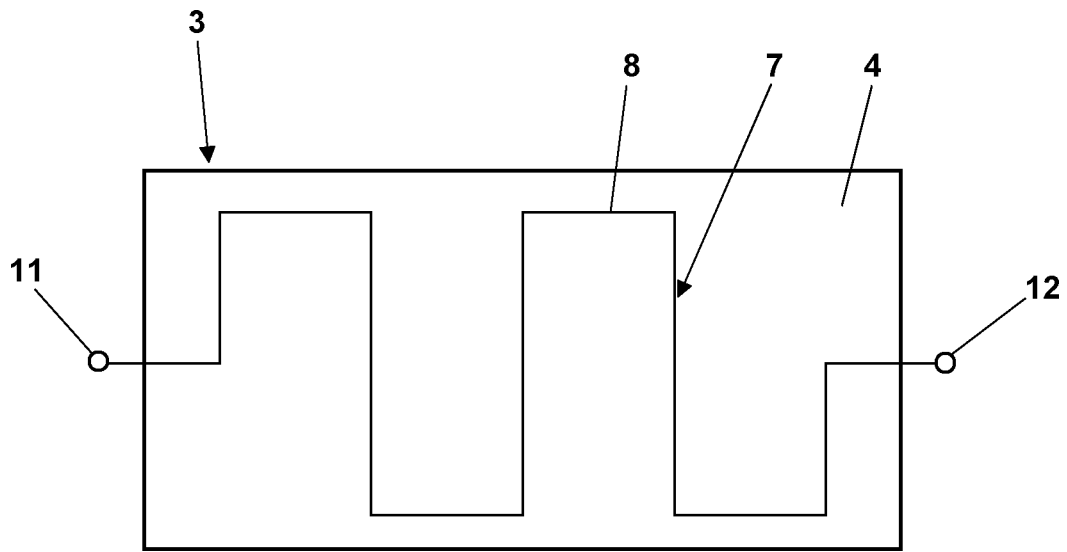
**Fig. 3**



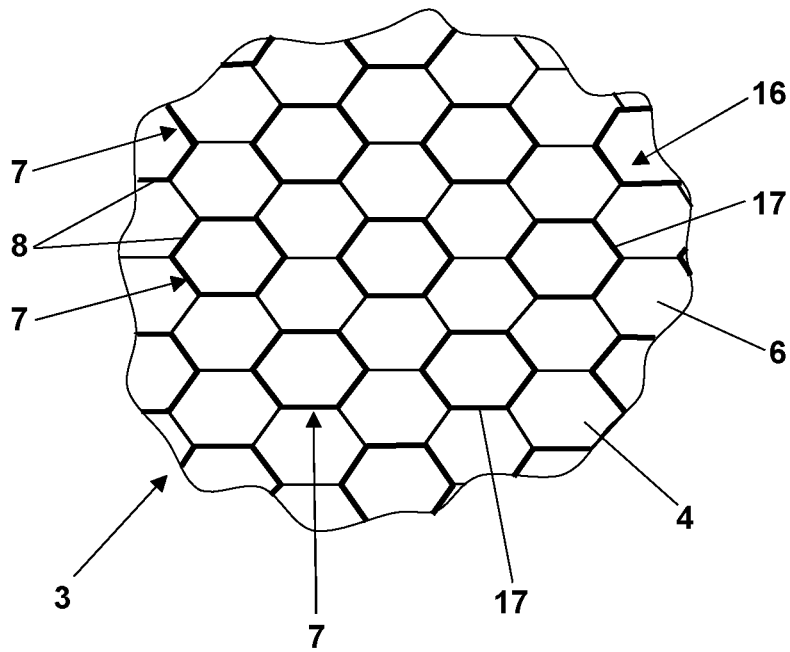
**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**