



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 114 163.9**  
(22) Anmeldetag: **26.08.2015**  
(43) Offenlegungstag: **02.03.2017**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **17.10.2024**

(51) Int Cl.: **H05B 3/20** (2006.01)  
**H05B 3/08** (2006.01)  
**B64D 15/12** (2006.01)  
**H05B 3/28** (2006.01)

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

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

(74) Vertreter:  
**Gramm, Lins & Partner Patent- und Rechtsanwälte  
PartGmbH, 30173 Hannover, DE**

(72) Erfinder:  
**Düring, Denise, 38106 Braunschweig, DE;  
Pototzky, Alexander, 38110 Braunschweig, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

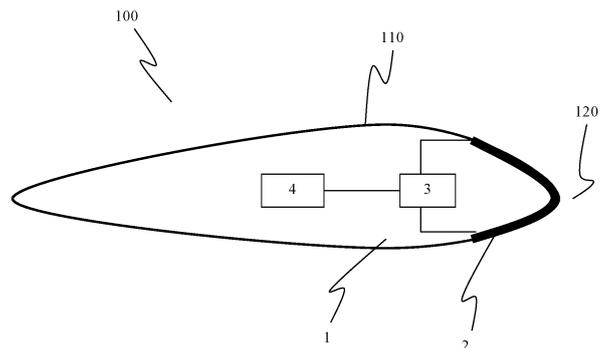
|    |               |    |
|----|---------------|----|
| US | 7 246 773     | B2 |
| US | 2 743 890     | A  |
| US | 6 137 083     | A  |
| US | 5 947 418     | A  |
| WO | 2007/ 136 260 | A1 |
| JP | 2005- 166 269 | A  |

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Strömungskörpers**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Strömungskörpers mit einem Enteisungssystem, welches ein Heizsystem (1) zur elektrothermischen Temperierung mit reduziertem Verkabelungsaufwand umfasst, mit den Schritten:

- Einbringen von elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) eines Faserverbundwerkstoffes in ein Formwerkzeug zur Bildung mindestens eines flächigen Heizelementes (2),
- Kontaktieren der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) des Heizelementes (2) mit einem oder mehreren flächigen Strombrücken (9, 10, 11) durch Anlegen der mindestens einen Strombrücke (9, 10, 11) an die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) in zumindest einem Teilabschnitt derart, dass die Strombrücke (9, 10, 11) einen Stromteiler bildet, wobei die Strombrücken (9, 10, 11) einen geringeren spezifischen elektrischen Widerstand haben als die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) und maschen-, gitter- oder netzförmig ausgebildet sind,
- Ausbilden von elektrischen Kontaktstellen zur Kontaktierung des Heizelementes (2) mit einer elektrischen Spannungsquelle (3), und
- Aushärten eines in die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) infundierten Matrixmaterials durch Temperierung und/oder Druckbeaufschlagung,
- wobei die mindestens eine Strombrücke (9) zur Bildung eines Stromteilers mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) im gesamten Bereich der Strombrücke (9) derart kontaktiert wird, dass in Stromflussrichtung vor und hinter dem durch den Stromteiler gebildeten Stromteilerabschnitt ein Heizabschnitt durch die elektrisch leitfähigen

gen Verstärkungsfasern (8) und durch den Stromteiler im Stromteilerabschnitt in Bezug auf die Heizabschnitte eine Wärmesenke gebildet wird, wenn die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) bestromt werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Strömungskörpers mit einem Enteisungssystem, welches in Heizsystem zur elektrothermischen Temperierung, bei dem bei Bestromung eines Materials aufgrund des elektrischen Widerstandes die Verlustwärme zur Temperierung genutzt wird, umfasst.

**[0002]** Die Verwendung von Faserverbundwerkstoffen ist heute aus der modernen Luft- und Raumfahrt nicht mehr wegzudenken. Gerade aufgrund der gewichtsspezifischen Festigkeit und Leichtigkeit eignen sich derartige Faserverbundwerkstoffe gerade dazu, das Leichtbaupotenzial optimal auszunutzen. Daher werden nicht selten auch strukturkritische Bauteile aus derartigen Faserverbundwerkstoffen gefertigt.

**[0003]** So ist heutzutage bereits der Einsatz von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) auch in der zivilen Luftfahrt Stand der Technik. Bei den neuesten Modellen der großen Flugzeughersteller, wie beispielsweise der Airbus A350XWB und der Boeing 787 (Dreamliner) bestehen nun auch große Teile der Flügelstruktur aus faserverstärkten Kunststoffen.

**[0004]** Bauteile aus einem faserverstärkten Kunststoff, sogenannte Faserverbundbauteile, werden durch Formung der Verstärkungsfasern des Faserverbundwerkstoffes, Einbettung der Verstärkungsfasern in eine Matrix (Matrixmaterial, insbesondere thermo- oder duroplastische Kunststoffe, Harze) und Aushärtung des Matrixmaterials in dem eingebetteten Verstärkungsfasern hergestellt. Das Formen der Verstärkungsfasern, um so die spätere Bauteilform zu realisieren, wird in der Regel durch Einbringen und Drapieren der Verstärkungsfasern in einem Formwerkzeug realisiert. Dabei können die Verstärkungsfasern Trockenfasern sein, die erst nach der Drapierung in dem Formwerkzeug mit dem Matrixmaterial infundiert werden (sogenanntes Infusionsverfahren). Die Verstärkungsfasern können aber auch vorimprägniertes Fasermaterial (sogenannte Prepregs) sein, die bereits zum Zeitpunkt der Formung der Verstärkungsfasern, d.h. meist beim Drapieren der Verstärkungsfasern in dem Formwerkzeug, mit dem später aushärtenden Matrixmaterial imprägniert sind.

**[0005]** Gerade bei Flugzeugstrukturen, auf die während des Fluges eine Strömung auftrifft (sogenannte Strömungskörper), wie beispielsweise Flügel, Leitwerke oder Flugzeugnase, besteht die Gefahr, dass diese Flugzeugstrukturen während des Fluges vereisen. Eine Vereisung der Flügel oder der Leitwerke ist jedoch besonders kritisch, weil die Flugfähigkeit durch das Ansetzen von Eis gravierend verschlech-

tert wird. Aus diesem Grund werden diese Strukturen mit sogenannten Anti-Icing-Systemen bzw. De-Icing-Systemen ausgestattet, um vereiste Flugzeugstrukturen zu enteisen bzw. der Gefahr einer Enteisung entgegenzuwirken.

**[0006]** Klassischerweise erfolgt die Enteisung durch Zapfluft von den Triebwerken, sogenannte Bleed Air Systeme. Diese sind jedoch sehr kostenineffizient, da größere Triebwerke und mehr Treibstoff bereitgestellt werden müssen, um genügend Zapfluft generieren zu können. Besonders durch einen hohen Leistungsverlust in den Rohrleitungen liegt der Wirkungsgrad lediglich bei ca. 30% bis 40%. Beim modernen Mantelstromtriebwerken kann zudem nicht mehr eine beliebige Menge an Zapfluft abgeführt werden, da ansonsten die zulässigen Randbedingungen dieser Triebwerke nicht mehr gegeben sind.

**[0007]** Zum anderen sind die Zapflufftemperaturen mit ca. 180°C sehr hoch. Bei Flugzeugstrukturen aus Faserverbundwerkstoffen führt dies jedoch zu einer schnellen Degradation der verwendeten Werkstoffe und somit der Faserverbundbauteile, die mit diesen hohen Zapflufftemperaturen in thermischer Wechselwirkung stehen.

**[0008]** Aus diesem Grund geht der Trend für zukünftige Flugzeuggenerationen hin zu elektrothermischen Enteisungssystemen, bei denen das Erwärmen durch das Anlegen einer elektrischen Spannung an elektrische Widerstandsstrukturen erfolgt. Ein Beispiel hierfür ist die US 7 246 773 B2. Hierbei wird eine Metallfolie an die Flügelvorderkante aufgebracht, die dann mittels Anlegen einer elektrischen Spannung aufgrund der elektrischen Verlustleistung am Widerstand erwärmt wird.

**[0009]** Nachteilig hierbei ist, dass durch das Aufbringen einer Metallfolie auf z.B. Faserverbundwerkstoffe der Vorteil von derartigen Werkstoffen zum Teil wieder vernichtet wird, da durch die Metallfolie ein erheblicher Gewichtseintrag gegenüber dem Faserverbundwerkstoff entsteht. Außerdem ergeben sich herstellungsbedingte Probleme bei der Kombination solcher Werkstoffe.

**[0010]** Aus der US 5 947 418 A ist ein Anti-Icing-System für Flügelvorderkanten bekannt, bei dem elektrisch leitfähige Verstärkungsfasern eines Faserverbundwerkstoffes verwendet werden, um einen thermischen Energieeintrag in die Strömungsoberfläche der Flügelvorderkante zu bewirken. Hierfür sind die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern mit einer elektrischen Spannungsquelle verbunden, um die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern zu bestromen und aufgrund des elektrischen Widerstandes dann mittels der elektrischen Verlustleistung die Oberfläche zu beheizen.

**[0011]** Nachteilig hierbei ist jedoch, dass der thermische Energieeintrag über die gesamte Flügelspannweite hinweg nicht sicher kontrolliert werden kann, um zum einen ein entsprechendes Freihalten von Eis auf der Strömungsoberfläche zu gewährleisten und andererseits zu verhindern, dass aufgrund eines zu hohen thermischen Energieeintrages der Faserverbundwerkstoff beschädigt wird. Aus diesem Grund müssen in kurzen Abständen über die Flügelspannweite hinweg mehrere dieser Heizmatten angeordnet werden, was den Verkabelungsaufwand damit die Produktionskosten deutlich erhöht.

**[0012]** Aus der WO 2007/ 136 260 A1 ist eine Heizvorrichtung für aerodynamische Profile bekannt, bei der in ein Fasermaterial eines Faserverbundwerkstoffes zusätzliche elektrisch leitfähige Fasern eingebracht werden, die bestromt werden sollen. Dabei werden die Fasern über ein Anschlusspaneel elektrisch kontaktiert.

**[0013]** Aus der US 6 137 083 A ist ebenfalls ein aerodynamisches Profil bekannt, bei dem Fasermaterial eines Faserverbundwerkstoffes zur Temperierung bestromt wird. Der Bestromungsabschnitt ist dabei am Anfang und am Ende mit einem Kontaktelement elektrisch kontaktiert.

**[0014]** Aus der US 2 743 890 A ist schließlich ein Heizelement bekannt, bei dem elektrische Leiter bestromt und somit erwärmt werden.

**[0015]** Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines Strömungskörpers mit einem Enteisungssystem anzugeben, das exakt an Geometrie und Vereisungsbedingungen angepasst werden kann, den Verkabelungsaufwand reduziert und gleichzeitig gewährleistet, dass der Faserverbundwerkstoff der Flugzeugstruktur nicht durch einen zu hohen thermischen Energieeintrag beschädigt wird.

**[0016]** Die Aufgabe mit dem Verfahren gemäß Anspruch 1 erfindungsgemäß gelöst.

**[0017]** Gemäß Anspruch 1 wird ein Verfahren zur Herstellung eines Strömungskörpers mit einem Enteisungssystem vorgeschlagen, welches ein Heizsystem zur elektrothermischen Temperierung hat, wobei zunächst elektrisch leitfähige Verstärkungsfasern eines Faserverbundwerkstoffes in ein Formwerkzeug zur Bildung mindestens eines flächigen Heizelementes eingebracht werden. Die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des Faserverbundwerkstoffes können dabei beispielsweise trockene oder vorimprägnierte Fasermaterialien, beispielsweise Gewebe oder Gelege, unidirektionale Gewebematerialien als Streifen oder beispielsweise einzelne Rovings sein.

**[0018]** Die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des Heizelementes, das durch Einbringen der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern in das Formwerkzeug hergestellt werden soll, werden dann mit einem oder mehreren flächigen Strombrücken durch Anlegen der mindestens einen Strombrücke an die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern elektrisch zumindest in einem Teilabschnitt kontaktiert. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass die Strombrücken auf die entsprechenden Teilabschnitte der in das Formwerkzeug eingebrachten elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern aufgelegt werden. Denkbar ist auch, dass zuvor die Strombrücken an die entsprechenden Positionen in das Formwerkzeug eingelegt und anschließend die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern entsprechend darüber positioniert werden.

**[0019]** Die Strombrücken kontaktieren dabei die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern derart, dass die Strombrücke einen Stromteiler bildet, wobei die Strombrücke in einem geringeren spezifischen elektrischen Widerstand haben als die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern.

**[0020]** Anschließend werden elektrische Kontaktstellen zur Kontaktierung des Heizelementes mit einer elektrischen Spannungsquelle ausgebildet und dann das in die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern infundierte Matrixmaterial durch Temperierung und/oder Druckbeaufschlagung ausgehärtet.

**[0021]** Die flächigen Strombrücken sind maschen-, gitter- oder netzförmig ausgebildet und bilden dabei beim Aushärten des Matrixmaterials eine integrale Einheit mit dem Heizelement als Faserverbundbauteil und kontaktieren dabei gleichzeitig die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des späteren Faserverbundbauteils (Heizelement). Dadurch können die Strombrücken zusammen mit den Heizelementen in einem Prozessschritt gefertigt werden.

**[0022]** Es ist insbesondere vorteilhaft, wenn die Heizelemente des Heizsystems bei der Herstellung einer übergeordneten Struktur gleich zusammen mit dieser übergeordneten Struktur hergestellt werden, um so eine integrale Einheit der übergeordneten Struktur zusammen mit dem Heizsystem zu bilden. Die übergeordnete Struktur kann beispielsweise ein Strömungskörper im Sinne der vorliegenden Erfindung oder ein Formwerkzeug sein.

**[0023]** Das mindestens eine flächige Heizelement ist somit aus einem Faserverbundwerkstoff gebildet. Der Faserverbundwerkstoff weist dabei zumindest teilweise elektrisch leitfähige Verstärkungsfasern auf, die in ein ausgehärtetes Matrixmaterial eingebettet sind. Das flächige Heizelement, das aus diesem Faserverbundwerkstoff gebildet ist, ist somit

ein Faserverbundbauteil aus elektrisch leitfähigem Fasermaterial.

**[0024]** Die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des flächigen Hezelementes sind dabei mit einer elektrischen Spannungsquelle kontaktiert oder kontaktierbar, so dass die stromdurchflossenen, elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern einen Bestromungsabschnitt bilden.

**[0025]** Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, dass das Heizsystem ein oder mehrere flächige Strombrücken aufweist, die in Teilabschnitten des Bestromungsabschnittes auf den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern flächig anliegen und diese elektrisch kontaktieren, wobei die Strombrücken einen geringeren spezifischen elektrischen Widerstand haben als die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern.

**[0026]** Eine der Strombrücken kontaktiert dabei die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern elektrisch derart, dass die Strombrücke einen Stromteiler zusammen mit den elektrisch kontaktierten Verstärkungsfasern im Kontaktierungsbereich der Strombrücke bildet, wodurch aufgrund des geringeren spezifischen elektrischen Widerstandes der Strombrücke die elektrische Verlustleistung im Kontaktierungsbereich der Strombrücke reduziert wird.

**[0027]** Durch das Anliegen der Strombrücken an die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern zur Bildung eines Stromteilers lässt sich so gezielt in dem Heizsystem der thermische Energieeintrag kontrollieren und an die lokalen Bedingungen und Geometrie anpassen, ohne dass hierfür jedes einzelne Hezelement des Heizsystems einen eigenen Anschluss benötigt und somit der Verkabelungsaufwand deutlich erhöht wird. Vielmehr lässt sich durch das Anliegen der Strombrücken und Bildung eines Stromteilers gezielt ein thermischer Energieeintrag verringern bzw. verhindern, und gezielt an die Bauform und dem Anwendungsfall anpassen.

**[0028]** Unter einer flächigen Strombrücke im Sinne der folgenden Erfindung wird ein elektrisch leitfähiges Element verstanden, das so ausgebildet ist, dass es die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern eines Hezelementes kontaktieren kann und nach Aushärtung des Matrixmaterials eine integrale Einheit mit dem Hezelement bildet. Die flächige Strombrücke weist dabei eine zweidimensionale Abmessung auf, die die Stärke bzw. Dicke der flächigen Strombrücke deutlich übersteigt. Vorzugsweise weist die flächige Strombrücke eine geringere Stärke bzw. Dicke auf als ein für diesen Anwendungsfall vorgesehener elektrischer Leiter mit einem runden Querschnitt. Dabei ist die flächige Strombrücke so ausgebildet, dass sie eine Vielzahl von einzelnen elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern eines Hezelementes kontaktieren kann.

**[0029]** Erfindungsgemäß ist die mindestens eine Strombrücke zur Bildung eines Stromteilers mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern derart kontaktiert, dass in Stromflussrichtung vor und hinter dem durch den Stromteiler gebildeten Stromteilerabschnitt (Kontaktierungsabschnitt des Stromteilers mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern) ein Heizabschnitt durch die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern gebildet wird. Durch das Bestromen der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern wird ein Bestromungsabschnitt in den flächigen Hezelementen gebildet, weil durch die Strombrücke und den dadurch gebildeten Stromteiler der Bestromungsabschnitt dann in einen Heizabschnitt vor und einen Heizabschnitt hinter dem Stromteiler geteilt wird.

**[0030]** Aufgrund der Tatsache, dass die Strombrücke einen geringeren spezifischen elektrischen Widerstand hat als die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern, wird in den Heizabschnitt beim Bestromen der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern eine höhere elektrische Verlustleistung generiert, während im Stromteilerabschnitt aufgrund des geringeren spezifischen Widerstandes der Strombrücke die elektrische Verlustleistung deutlich reduziert wird, so dass der thermische Energieeintrag des Heizsystems insgesamt verringert wird. Somit lassen sich an die lokalen Bedingungen exakt angepasste Heizstrategien entwickeln.

**[0031]** Außerdem ist vorgesehen, dass der Stromteiler im Stromteilerabschnitt in Bezug auf die Heizabschnitte eine Wärmesenke bildet, um so das Erzeugen von Hotspots in den Heizabschnitten zu reduzieren, was die Gefahr einer Beschädigung der darunterliegenden Struktur deutlich reduziert.

**[0032]** In einer Ausführungsform kann eine der Strombrücken auch mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern derart elektrisch kontaktiert sein, dass die Strombrücke eine Überbrückung bildet, um so elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern, die voneinander isoliert sind, zu überbrücken, um so beispielsweise zwei Hezelemente des Heizsystems elektrisch miteinander zu verbinden, ohne im Verbindungsbereich eine aufwändige Verkabelung durchzuführen oder im Verbindungsbereich einen deutlichen Wärmeeintrag zu generieren. Vielmehr können mit der Strombrücke als Überbrückung elektrisch leitfähige Verstärkungsfasern miteinander verbunden werden, ohne eine weitere Aufheizung im Überbrückungsbereich befürchten zu müssen.

**[0033]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform hierzu weist das Heizsystem wenigstens zwei elektrisch voneinander isolierte flächige Hezelemente auf, die mittels mindestens einer Strombrücke überbrückt sind und somit mittels der Strombrücke miteinander elektrisch verbunden sind, wobei die mindestens eine Strombrücke an einem ersten

Ende mit dem elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des ersten flächigen Hezelementes und an einem gegenüberliegenden zweiten Ende mit dem elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des zweiten flächigen Hezelementes elektrisch kontaktiert ist. Hierdurch lassen sich flächige Hezelemente, die jeweils elektrisch isolierend vorgesehen sind, in Reihe hintereinander elektrisch verbinden, ohne dass befürchtet werden muss, dass durch einen zu hohen thermischen Energieeintrag Strukturen beschädigt werden. Denn aufgrund des geringeren spezifischen elektrischen Widerstandes der Strombrücken wird im Überbrückungsbereich die elektrische Verlustleistung deutlich reduziert und somit der thermische Energieeintrag insgesamt.

**[0034]** Der Vorteil hierbei ist, dass die einzelnen Hezelemente nicht separat einen eigenen Anschluss benötigen, wodurch die Verkabelung deutlich reduziert wird, vielmehr lassen sich mit der vorliegenden Erfindung mehrere Hezelemente in Reihe hintereinanderschalten, ohne jedes einzelne Hezelemente separat zu verkabeln.

**[0035]** Vorteilhafterweise ist es auch denkbar, dass eine der Strombrücken an einem ersten Ende am Anfang des Bestromungsabschnittes eines flächigen Hezelementes auf den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern flächig anliegt und diese elektrisch kontaktieren und an einem gegenüberliegenden zweiten Ende mit der elektrischen Spannungsquelle verbunden oder verbindbar ist. Damit lassen sich die flächigen Strombrücken auch als Anschlusselemente verwenden, um das Heizsystem insgesamt an die elektrische Spannungsquelle anzuschließen.

**[0036]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform beträgt der spezifische elektrische Widerstand der Strombrücken weniger als 1%, vorzugsweise weniger als 5‰, besonders vorzugsweise weniger als 2‰ des spezifischen elektrischen Widerstandes der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern, so dass die Strombrücken eine deutlich höhere elektrische Leitfähigkeit aufweisen und somit eine deutlich geringere elektrische Verlustleistung als die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern.

**[0037]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weisen die Strombrücken und die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern eine Standardpotenzialdifferenz von maximal 0,4 V auf, so dass die Strombrücke und die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern miteinander kombiniert werden können, ohne eine Korrosionsgefahr zu befürchten.

**[0038]** Vorteilhafterweise sind die Strombrücken aus einem Material gebildet, das Kupfer und/oder Aluminium enthält. Besonders vorzugsweise bestehen die Strombrücken aus Kupfer und/oder Aluminium. Kupfer hat dabei den Vorteil, dass es ein ähnliches Stan-

dardpotenzial hat (+ 0,35 V) wie Kohlenstofffasern (+ 0,75 V), so dass die Standardpotenzialdifferenz von 0,4 V nicht überschritten wird und somit Korrosionsgefahr nicht zu befürchten ist. Darüber hinaus hat Kupfer eine besonders hohe elektrische Leitfähigkeit gegenüber den Kunststofffasern und kann somit die elektrische Verlustleistung deutlich reduzieren.

**[0039]** Die flächigen Strombrücken sind maschen-, gitter- oder netzförmig ausgebildet, wodurch eine integrale Verbindung der Strombrücken mit den Hezelementen sichergestellt werden kann.

**[0040]** Vorteilhafterweise werden die Hezelemente zusammen mit den kontaktierten Strombrücken zwischen elektrisch isolierende Glasfaserschichten angeordnet, um so die Hezelemente von anderen Strukturen, in denen das Heizsystem eingesetzt werden soll, zu isolieren.

**[0041]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist der Strömungskörper eine Flügelvorderkante eines Flugzeugsflügels, Klappen eines Flugzeugflügels, Leitwerk eines Flugzeugflügels, Rotorblätter eines Hubschraucherrotors oder Rotorblätter einer Windkraftanlage.

**[0042]** Es ist auch denkbar, dass das Heizsystem wie vorstehend beschrieben in ein Formwerkzeug zur Herstellung eines Faserverbundbauteils integriert ist, um das Faserverbundbauteil zur Aushärtung des in das Fasermaterial infundierten Matrixmaterials durch Temperierung auszuhärten. Dabei kann ein solches Heizsystems insbesondere in die Werkzeugoberfläche des Formwerkzeuges integriert sein.

**[0043]** Die Erfindung wird anhand der beigefügten Figuren beispielhaft erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein Strömungsprofil;

**Fig. 2** schematische Darstellung eines Hezelementes des Heizsystems;

**Fig. 3** Ausführungsbeispiel mit zwei Hezelementen;

**Fig. 4** Ausführungsbeispiel mit Parallelschaltung.

**[0044]** Fig. 1 zeigt ein Strömungsprofil 100 im Querschnitt, das beispielsweise ein Flugzeugflügel sein kann. Das Strömungsprofil 100 weist eine Strömungsoberfläche 110 auf, die von der umgebenden Luft angeströmt werden kann. Im vorderen Bereich weist das Strömungsprofil 100 eine Vorderkante 120 auf, welche die am meisten exponierte Stelle des gesamten Strömungsprofils 100 sein kann.

**[0045]** Innenliegend des Strömungsprofils 100 ist erfindungsgemäß das Heizsystem 1 vorgesehen,

das im Bereich der Vorderkante 120 Heizelemente 2 (schematisch dargestellt) hat. Die Heizelemente 2 wirken dabei mit der Strömungsoberfläche 110 die Strömungsprofile 100 derart zusammen, dass bei einem thermischen Energieeintrag und Aufheizen der Heizelemente 2 die thermische Energie an die Strömungsoberfläche 110 abgegeben wird und somit die Vorderkante 120 enteist werden kann. Im Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** bildet somit das Heizsystem 1 ein Enteisierungssystem für das Strömungsprofil 100.

**[0046]** Das oder die Heizelemente 2 des Heizsystems 1 sind dabei mit einer elektrischen Spannungsquelle 3 verbunden, so dass die Heizelemente 2, genauer gesagt die elektrisch leitenden Verstärkungsfasern der Heizelemente 2, bestromt werden können, um so die Heizelemente 2 zu temperieren.

**[0047]** Um das Heizsystem 2 entsprechend ansteuern zu können, ist eine Steuereinheit 4 vorgesehen, die zum Steuern der Bestromung der Heizelemente 2 mittels der elektrischen Spannungsquelle 3 eingerichtet ist.

**[0048]** Aus Übersichtlichkeitsgründen sind die Strombrücken des Heizsystems 1 im Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** nicht gezeigt.

**[0049]** **Fig. 2** zeigt schematisch das Heizsystem 1 im Detail in einem ersten Ausführungsbeispiel. Das Heizsystem 1 weist hierbei zunächst ein Heizelement 2 auf, das mit einer elektrischen Spannungsquelle 3 kontaktierbar ist.

**[0050]** Das Heizelement 2 ist im Ausführungsbeispiel der **Fig. 2** U-förmig ausgebildet und weist insbesondere zwei Schenkel 5 und 6 auf, die über einen Verbindungssteg 7 ein U ausbilden. Das Heizelement 2 mit seinem ersten Schenkel 5, seinen zweiten Schenkel 6 und seinem Verbindungssteg 7 weist hierbei elektrisch leitfähige Verstärkungsfasern 8 auf, die in **Fig. 2** angedeutet sind.

**[0051]** Wird das Heizelement 2, wie in **Fig. 2** dargestellt, sowohl an dem einen Ende des ersten Schenkels 5 als auch an dem einen Ende des zweiten Schenkels 6 mit der elektrischen Spannungsquelle verbunden, so fließt ein Strom durch den ersten Schenkel 5, durch den Verbindungssteg 7 hin zu dem zweiten Schenkel 6, wodurch das gesamte Heizelemente 2 vollständig bestromt wird. In einer derartigen Ausführung würde sich aufgrund der elektrischen Verlustleistung das Heizelement 2 stark erwärmen, wodurch ein hoher thermischer Energieeintrag in das Heizelement 2 realisiert werden kann, um so entsprechend andere Strukturen temperieren zu können.

**[0052]** Um insbesondere im Zusammenhang mit Enteisierungssystemen und Strömungsprofilen, wie sie aus **Fig. 1** bekannt sind, dem thermischen Energieeintrag entsprechend an die lokalen Bedingungen anpassen zu können, ist im Ausführungsbeispiel die **Fig. 2** schematisch dargestellt, dass der Verbindungssteg 7 durch eine Strombrücke 9 elektrisch kontaktiert wird, genauer gesagt die elektrisch leitenden Verstärkungsfasern 8 des Verbindungssteges 7 werden mit der elektrisch leitfähigen Strombrücke 9 elektrisch kontaktiert. Die elektrische Kontaktierung erfolgt dabei vorzugsweise so, dass der gesamte Bereich der Strombrücke 9 die elektrisch leitfähigen Fasern 8 des Verbindungssteges 7 elektrisch kontaktiert.

**[0053]** Es sei angemerkt, dass das Ausführungsbeispiel der **Fig. 2** nur eine schematische Darstellung des Funktionsprinzips enthält und in der Praxis durchaus andere Formen und Abdeckungen durch die Strombrücke möglich sind, um die entsprechend lokalen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

**[0054]** Wird nun das Heizelement 2 durch die elektrische Spannungsquelle bestromt, so bildet die Strombrücke 9 in Verbindung mit dem Verbindungssteg 7 einen Stromteiler, wobei aufgrund des erheblich geringeren elektrischen Widerstandes der Strombrücke 9 der Stromfluss hauptsächlich durch die Strombrücke 9 erfolgt und weniger durch den Verbindungssteg 7.

**[0055]** Durch die Strombrücke 9 wird somit ein Stromteiler realisiert, der dazu führt, dass der von der Strombrücke 9 abgedeckte Bereich von elektrisch leitenden Verstärkungsfasern bei der Bestromung deutlich weniger Strom leiten, wodurch die thermische Verlustleistung gegenüber den elektrisch leitenden Verstärkungsfasern 8 reduziert wird, so dass hierdurch ein Nicht-Beheizen des durch die Strombrücke 9 als Stromteiler abgedeckten Bereiches realisiert werden kann.

**[0056]** Im Ausführungsbeispiel der **Fig. 2** teilt die Strombrücke 9 dabei das unförmige Heizelement 2 in einen vor und hinter der Strombrücke 9 liegenden Heizabschnitt, der dem ersten Schenkel 5 in dem zweiten Schenkel 6 entspricht. Mit anderen Worten, wird das Heizelement 2 bestromt, so bilden der erste Schenkel 5 und der zweite Schenkel 6 einen Heizabschnitt bzw. eine Heizstrecke, während der Bereich des Verbindungssteges 7 mit der darauf liegenden Strombrücke 9 eine Wärmesenke darstellen, die nicht beheizt ist.

**[0057]** Die Strombrücke 9 kann beispielsweise ein maschen-, gitter- oder netzförmiges flächiges Element sein, das vorzugsweise aus Kupfer (Kupfermesh) besteht.

**[0058]** An den zu dem in Verbindungsteg 7 diametral gegenüberliegenden Enden der beiden Schenkel 5 und 6 ist darüber hinaus ebenfalls eine Strombrücke 10 vorgesehen, die die Verstärkungsfasern 8 der jeweiligen Schenkel 5 und 6 an ihrem unteren Ende kontaktiert. Über die Strombrücken 10 wird dann die elektrische Spannungsquelle 3 kontaktiert, so dass über diese Strombrücken 10 ein Kontakt mit dem Heizelement 2 zu der elektrischen Spannungsquelle 3 hergestellt werden kann.

**[0059]** Hierbei besteht der Vorteil zum einen darin, dass durch die Strombrücken 10 keine zusätzlichen Kabeln mit größerem Kabelquerschnitt in die Gesamtstruktur eingefügt werden muss, um das Heizelement 2 mit der elektrischen Spannungsquelle 3 zu verbinden. Darüber hinaus ermöglichen die Strombrücken 10, die beispielsweise aus einem Kupfermaterial mit einem sehr geringspezifischen Widerstand bestehen, dass im Vorfeld das Heizelement 2 aufgrund der elektrischen Verlustleistung der Anschlusselemente kein thermischer Energieeintrag erfolgt.

**[0060]** Somit beschränkt sich der thermische Energieeintrag ausschließlich auf die verbleibenden Schenkel 5 und 6 des Heizelementes 2 und ist damit definiert kontrolliert.

**[0061]** Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem zwei Heizelemente über eine Strombrücke 11 in Form einer Verbindungsstrombrücke miteinander verbunden sind. Hierbei wird das eine Ende des zweiten Schenkels 6 des ersten Heizelementes 2a mit dem einen Ende des ersten Schenkels 5 des zweiten Heizelementes 2b mittels der Strombrücke 9 kontaktiert, so dass eine elektrisch leitende Verbindung zwischen dem ersten Heizelement 2a und dem zweiten Heizelement 2b entsteht. Aufgrund der hohen Leitfähigkeit der Strombrücke 11 erfolgt dabei nur ein sehr geringer thermischer Energieeintrag, der gegenüber dem thermischen Energieeintrag der Heizabschnitte der Schenkel 5 und 6 der Heizelemente 2a, 2b deutlich zurücksteht.

**[0062]** Somit können mehrere Heizelemente hintereinander in Reihe geschaltet werden, ohne dass der gesamte thermische Energieeintrag für die darunterliegende Struktur oder das Heizelement selber zu hoch wird. Durch das kontinuierliche Einbringen von Wärmesenken mittels der Strombrücken 9, 10 und 11 kann der thermische Energieeintrag definiert kontrolliert werden.

**[0063]** Fig. 4 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel, bei dem das Heizsystem über eine Parallelschaltung gebildet wird. Hierfür ist eine erste Strombrücke 11a und eine zweite Strombrücke 11d vorgesehen, zwischen denen die Schenkel 5a bis 5c mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern

angeordnet sind. Die Strombrücken 11a und 11b kontaktieren dabei die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern der Schenkel 11a bis 11c an ihren jeweiligen oberen Enden, so dass in diesen Bereichen die Strombrücken 11a, 11b in Teilabschnitten auf den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern flächig anliegen.

**[0064]** Wird nun mithilfe der Spannungsquelle 3 ein Stromfluss in den Strombrücken 11a und 11b sowie in den Schenkeln 5a bis 5c bewirkt, so werden insbesondere die Schenkel 5a bis 5c aufgrund des höheren spezifischen elektrischen Widerstandes deutlich mehr erwärmt, als die Strombrücken 11a und 11b mit einem gegenüber den elektrisch leitenden Verstärkungsfasern geringeren spezifischen elektrischen Widerstand. Hierdurch lässt sich ein definierter thermischer Energieeintrag realisieren.

#### Bezugszeichenliste:

|      |                     |
|------|---------------------|
| 1    | Heizsystem          |
| 2    | Heizelemente        |
| 2a   | erstes Heizelement  |
| 2b   | zweites Heizelement |
| 3    | Spannungsquelle     |
| 4    | Steuereinheit       |
| 5, 6 | Schenkel            |
| 7    | Verbindungssteg     |
| 8    | Verstärkungsfasern  |
| 9    | Strombrücke         |
| 10   | Strombrücken        |
| 11   | Strombrücke         |
| 100  | Strömungsprofil     |
| 110  | Strömungsoberfläche |
| 120  | Vorderkante         |

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Strömungskörpers mit einem Enteisungssystem, welches ein Heizsystem (1) zur elektrothermischen Temperierung mit reduziertem Verkabelungsaufwand umfasst, mit den Schritten:
  - Einbringen von elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) eines Faserverbundwerkstoffes in ein Formwerkzeug zur Bildung mindestens eines flächigen Heizelementes (2),
  - Kontaktieren der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) des Heizelementes (2) mit einem oder mehreren flächigen Strombrücken (9, 10, 11) durch Anlegen der mindestens einen Strombrücke (9, 10, 11) an die elektrisch leitfähigen Verstärkungs-

fasern (8) in zumindest einem Teilabschnitt derart, dass die Strombrücke (9, 10, 11) einen Stromteiler bildet, wobei die Strombrücken (9, 10, 11) einen geringeren spezifischen elektrischen Widerstand haben als die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) und maschen-, gitter- oder netzförmig ausgebildet sind,

- Ausbilden von elektrischen Kontaktstellen zur Kontaktierung des Heizelementes (2) mit einer elektrischen Spannungsquelle (3), und

- Aushärten eines in die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) infundierten Matrixmaterials durch Temperierung und/oder Druckbeaufschlagung,

- wobei die mindestens eine Strombrücke (9) zur Bildung eines Stromteilers mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) im gesamten Bereich der Strombrücke (9) derart kontaktiert wird, dass in Stromflussrichtung vor und hinter dem durch den Stromteiler gebildeten Stromteilerabschnitt ein Heizabschnitt durch die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) und durch den Stromteiler im Stromteilerabschnitt in Bezug auf die Heizabschnitte eine Wärmesenke gebildet wird, wenn die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) bestromt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wenigstens zwei voneinander elektrisch isolierend vorgesehene Heizelemente (2) durch das Einbringen der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) in das Formwerkzeug gebildet werden, wobei die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) der Heizelemente (2) durch mindestens eine Strombrücke (11) überbrückt werden, indem die mindestens eine Strombrücke (11) an einem ersten Ende mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des ersten flächigen Heizelementes (2a) und an einem gegenüberliegenden zweiten Ende mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des zweiten flächigen Heizelementes (2b) elektrisch kontaktiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) auf eine erste Glasfaserschicht in dem Formwerkzeug aufgebracht werden, wobei nach einbringen der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) und der Strombrücken (10) in das Formwerkzeug eine zweite Glasfaserschicht auf die eingebrachten, elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) aufgebracht wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strombrücken (10) aus einem Material gebildet sind, das Kupfer und/oder Aluminium enthält.

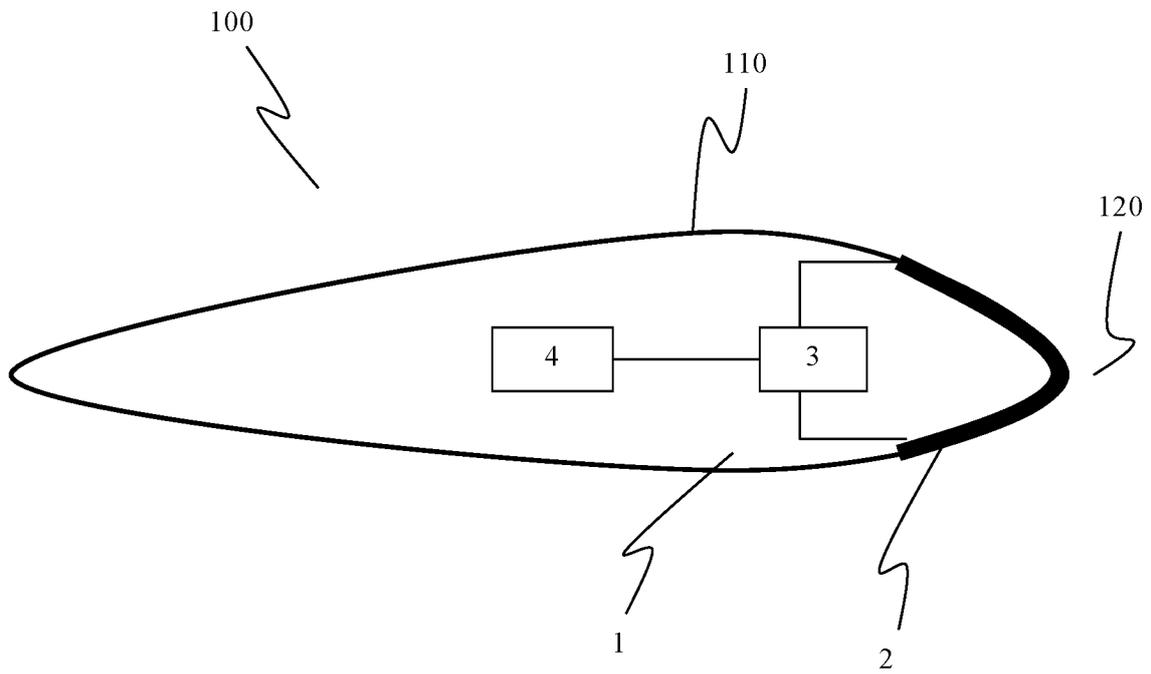
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der spezifische elektrische Widerstand der Strombrücken (10) weni-

ger als 1 Prozent, vorzugsweise weniger als 5 Promille, besonders vorzugsweise weniger als 2 Promille, des spezifischen elektrischen Widerstandes der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) beträgt, und/oder dass die Strombrücken (10) und die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) eine Standardpotentialdifferenz von maximal 0,4 V aufweisen.

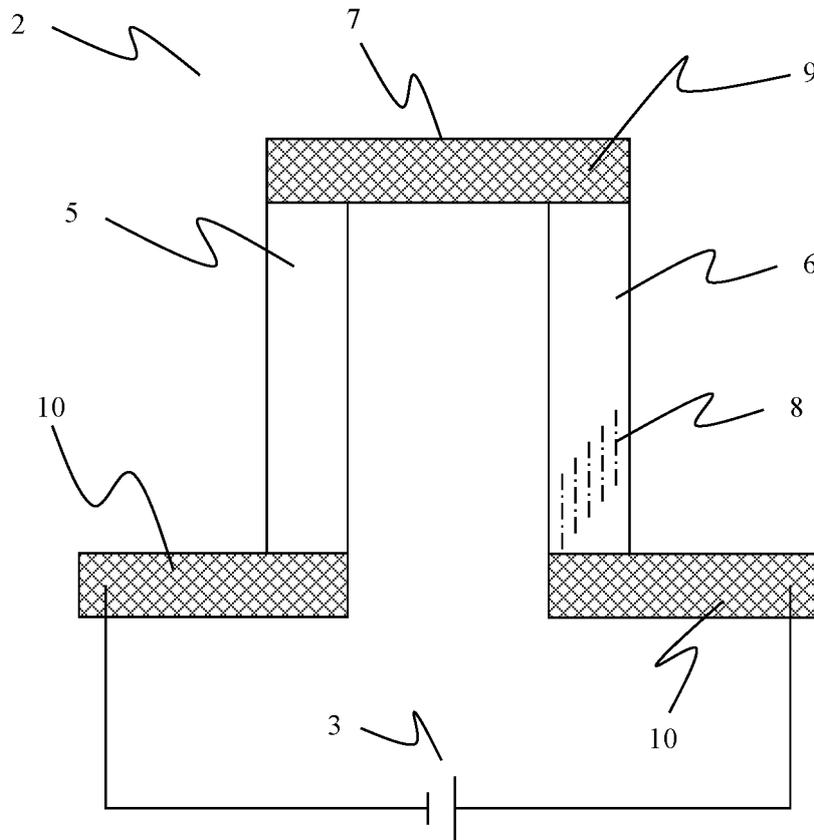
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungskörper eine Vorderkante eines Flugzeugflügels, eine Klappe eines Flugzeugflügels, ein Leitwerk eines Flugzeuges, ein Rotorblatt eines Hubschraubers oder ein Rotorblatt einer Windkraftanlage ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

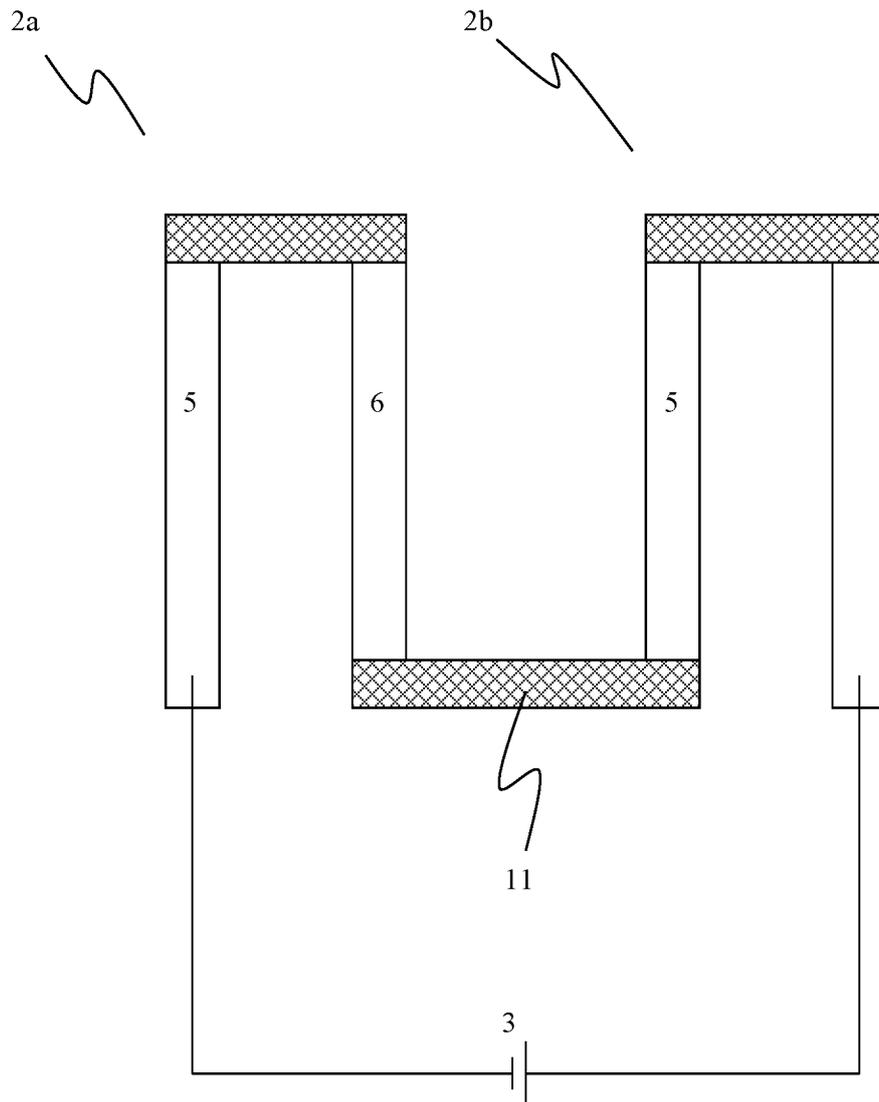
Anhängende Zeichnungen



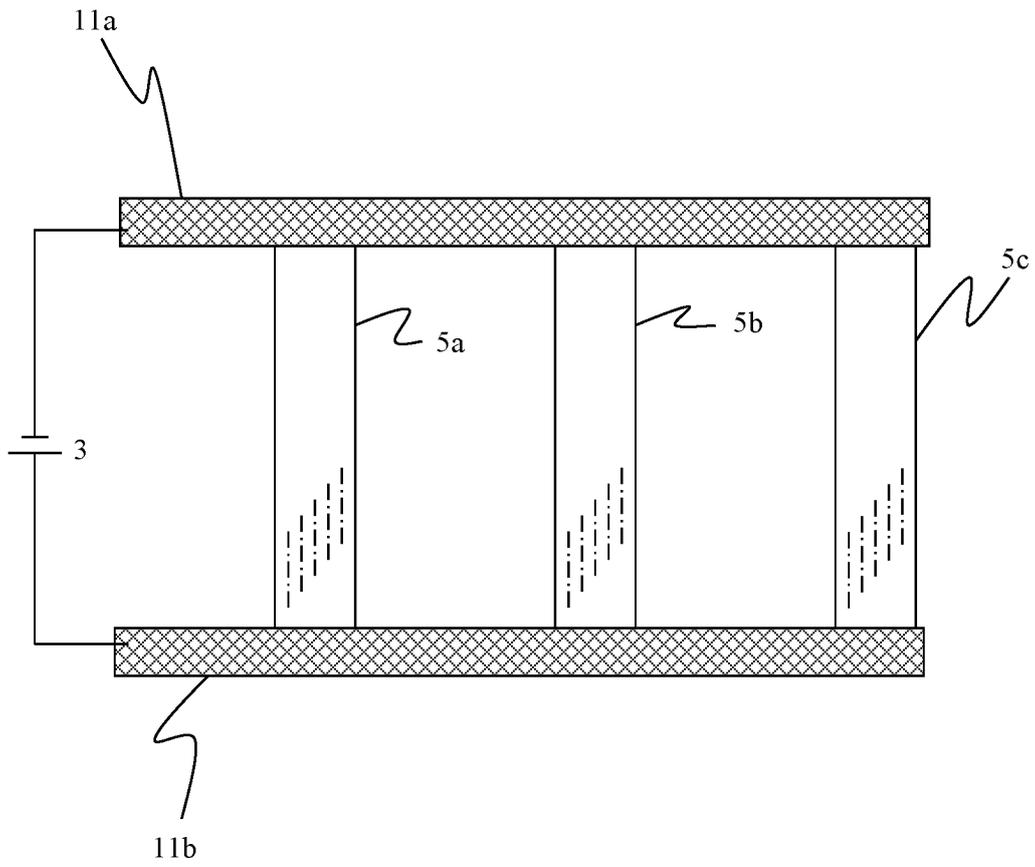
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4