



(10) **DE 10 2015 114 163 A1** 2017.03.02

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 114 163.9**

(22) Anmeldetag: **26.08.2015**

(43) Offenlegungstag: **02.03.2017**

(51) Int Cl.: **H05B 3/20 (2006.01)**

**H05B 3/08 (2006.01)**

(71) Anmelder:

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

(72) Erfinder:

**Düring, Denise, 38106 Braunschweig, DE;  
Pototzky, Alexander, 38110 Braunschweig, DE**

(74) Vertreter:

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

(56) Ermittelter Stand der Technik:

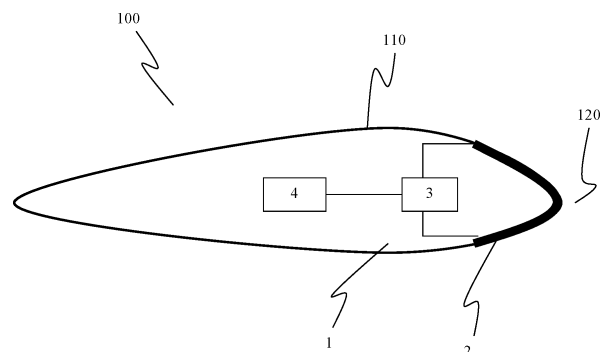
<b>US</b>	<b>2 743 890</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>6 137 083</b>	<b>A</b>
<b>WO</b>	<b>2007/ 136 260</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Heizsystem zur elektrothermischen Temperierung und Verfahren zur Herstellung hierzu**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Heizsystem zur elektrothermischen Temperierung mit mindestens einem flächigen Heizelement, das aus einem Faserverbundwerkstoff besteht, wobei mit einer elektrischen Spannungsquelle ein Stromfluss durch die elektrisch leitenden Verstärkungsfasern das Faserverbundwerkstoffes bewirkt werden kann. Das Heizsystem weist dabei mehrere flächige Strombrücken auf, die in Teilabschnitten des Bestromungsabschnittes auf den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern flächig anliegen und so einen Stromteiler oder eine Überbrückung bilden können, wobei die Strombrücken einen geringeren spezifischen elektrischen Widerstand haben als die elektrisch leitfähige Verstärkungsfasern.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Heizsystem zur elektrothermischen Temperierung, bei dem bei Bestromung eines Materials aufgrund des elektrischen Widerstandes die Verlustwärme zur Temperierung genutzt wird. Die Erfindung betrifft ebenso ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Heizsystems zur elektrothermischen Temperierung. Ebenso betrifft die Erfindung einen Strömungskörper mit einem derartigen Heizsystem sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Strömungskörpers mit einem solchen Heizsystem.

**[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 auftritt (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 verschlechtert 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 kosteneffizient, 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 Zapflufttemperaturen 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 Zapflufttemperaturen 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 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]** Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein verbessertes Heizsystem und ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines solchen Heizsystems insbesondere zur Verwendung als Anti-Icing-System an Flugzeugstrukturen 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.

**[0013]** Die Aufgabe mit dem Heizsystem gemäß Anspruch 1 und dem Verfahren zur Herstellung eines solchen Heizsystems gemäß Anspruch 12 erfindungsgemäß gelöst. Die Aufgabe wird im Übrigen auch mit einem Strömungskörper gemäß Anspruch 10 sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Strömungskörpers gemäß Anspruch 17 gelöst.

**[0014]** Gemäß Anspruch 1 wird ein Heizsystem zur elektrothermischen Temperierung vorgeschlagen, das mindestens ein flächiges Heizelement aufweist, das aus einem Faserverbundwerkstoff gebildet ist. 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.

**[0015]** Die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des flächigen Heizelementes sind dabei mit einer elektrischen Spannungsquelle kontaktiert oder kontaktierbar, so dass die stromdurchflossenen, elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern einen Bestromungsabschnitt bilden.

**[0016]** 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 leitfähige Verstärkungsfasern.

**[0017]** Eine der Strombrücken kann dabei die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern elektrisch derart kontaktieren, dass die Strombrücke einen Stromteiler zusammen mit den elektrisch kontaktierten Verstärkungsfasern den Kontaktierungsbereich der Strombrücke bildet, wodurch aufgrund des geringeren spezifischen elektrischen Widerstandes der Strombrücke die elektrische Verlustleistung im Kontaktierungsbereich der Strombrücke reduziert wird.

**[0018]** 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 Heizelement 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 Bauteilform und dem Anwendungsfall anpassen.

**[0019]** Alternativ oder zusätzlich hierzu 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 Heizelemente 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.

**[0020]** 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 Heizelementes kontaktieren kann und nach Aushärtung des Matrixmaterials eine integrale Einheit mit dem Heizelement 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 Heizelementes kontaktieren kann.

**[0021]** In einer vorteilhaften Ausführungsform 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 Heizelementen 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.

**[0022]** 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.

**[0023]** Hierbei ist es ganz besonders vorteilhaft, wenn 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.

**[0024]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist das Heizsystem wenigstens zwei elektrisch voneinander isolierte flächige Heizelemente 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 Heizelementes und an einem gegenüberliegenden zweiten Ende mit dem elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des zweiten flächigen Heizelementes elektrisch kontaktiert ist. Hierdurch lassen sich flächige Heizelemente, 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.

**[0025]** Der Vorteil hierbei ist, dass die einzelnen Heizelemente nicht separat einen eigenen Anschluss benötigen, wodurch die Verkabelung deutlich reduziert wird, vielmehr lassen sich mit der vorliegenden Erfindung mehrere Heizelemente in Reihe hintereinanderschalten, ohne jedes einzelne Heizelemente separat zu verkabeln.

**[0026]** Vorteilhafterweise ist es auch denkbar, dass eine der Strombrücken an einem ersten Ende am Anfang des Bestromungsabschnittes eines flächigen Heizelementes 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.

**[0027]** 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.

**[0028]** 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.

**[0029]** 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 Standardpotenzial 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.

**[0030]** In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform sind die flächigen Strombrücken maschen-, gitter- oder netzförmig ausgebildet, wodurch eine integrale Verbindung der Strombrücken mit den Heizelementen sichergestellt werden kann.

**[0031]** Vorteilhafterweise werden die Heizelemente zusammen mit den kontaktierten Strombrücken

zwischen elektrisch isolierende Glasfaserschichten angeordnet, um so die Heizelemente von anderen Strukturen, in denen das Heizsystem eingesetzt werden soll, zu isolieren.

**[0032]** Gemäß Anspruch 10 wird ein Strömungskörper mit einer Strömungsoberfläche vorgeschlagen, wobei die Strömungsoberfläche zur Umströmung durch ein gasförmiges Fluid ausgebildet ist. Vorteilhafterweise ist zumindest die Strömungsoberfläche aus einem Faserverbundwerkstoff hergestellt oder besteht aus einem solchen Faserverbundwerkstoff oder weist einen solchen Faserverbundwerkstoff auf. Der Strömungskörper hat dabei ein Enteisungssystem zum Enteisen zumindest eines Teils der Strömungsoberfläche. Erfindungsgemäß ist das Enteisungssystem dabei ein Heizsystem wie vorstehend beschrieben, das mit einer elektrischen Spannungsquelle zum Anlegen einer elektrischen Spannung kontaktiert ist.

**[0033]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist der Strömungskörper eine Flügelvorderkante eines Flugzeugsflügels, Klappen eines Flugzeugflügels, Leitwerk eines Flugzeugflügels, Rotorblätter eines Hubschraucherrotors oder Rotorblätter einer Windkraftanlage.

**[0034]** 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 Heizsystem insbesondere in die Werkzeugoberfläche des Formwerkzeuges integriert sein.

**[0035]** Gemäß Anspruch 12 wird ein Verfahren zur Herstellung eines Heizsystems zur elektrothermischen Temperierung vorgeschlagen, 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.

**[0036]** 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 Teilabschnitt-

te 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.

**[0037]** Die Strombrücken kontaktieren dabei die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern derart, dass die Strombrücke einen Stromteiler oder eine Überbrückung bildet, wobei die Strombrücke in einem geringeren spezifischen elektrischen Widerstand haben als die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern.

**[0038]** 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.

**[0039]** Die flächigen Strombrücken, insbesondere dann, wenn sie maschen-, gitter- oder netzförmig ausgebildet sind, 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.

**[0040]** Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens finden Sie in den entsprechenden Unteransprüchen.

**[0041]** 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.

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

**[0043]** Fig. 1 schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein Strömungsprofil;

**[0044]** Fig. 2 schematische Darstellung eines Heizelementes des Heizsystems;

**[0045]** Fig. 3 Ausführungsbeispiel mit zwei Heizelementen;

**[0046]** Fig. 4 Ausführungsbeispiel mit Parallelschaltung.

**[0047]** 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.

**[0048]** 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 Strömungsprofils **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 Enteistungssystem für das Strömungsprofil **100**.

**[0049]** 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.

**[0050]** 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.

**[0051]** Aus Übersichtlichkeitsgründen sind die Strombrücken des Heizsystems **1** im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 nicht gezeigt.

**[0052]** 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.

**[0053]** 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.

**[0054]** 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.

**[0055]** Um insbesondere im Zusammenhang mit Enteistungssystemen 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.

**[0056]** 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.

**[0057]** 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**.

**[0058]** 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.

**[0059]** 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.

**[0060]** Die Strombrücke **9** kann beispielsweise ein maschen-, gitter- oder netzförmiges flächiges Element sein, das vorzugsweise aus Kupfer (Kupfermetall) besteht.

**[0061]** 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.

**[0062]** 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 Anschlüsselemente kein thermischer Energieeintrag erfolgt.

**[0063]** Somit beschränkt sich der thermische Energieeintrag ausschließlich auf die verbleibenden Schenkel **5** und **6** des Heizelementes **2** und ist damit definiert kontrolliert.

**[0064]** 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.

**[0065]** 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.

**[0066]** 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.

**[0067]** 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

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

**ZITATE ENTHALTEN 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**

- US 7246773 B2 [0008]
- US 5947418 [0010]



## Patentansprüche

1. Heizsystem (1) zur elektrothermischen Temperierung mit mindestens einem flächigen Heizelement (2), das aus einem Faserverbundwerkstoff gebildet ist, der zumindest teilweise elektrisch leitfähige Verstärkungsfasern (8) enthält, die in ein ausgehärtetes Matrixmaterial eingebettet sind, wobei die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) des flächigen Heizelementes (2) mit einer elektrischen Spannungsquelle (3) kontaktiert oder kontaktierbar sind, sodass die stromdurchflossenen, elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) einen Bestromungsabschnitt bilden, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Heizsystem (1) eine oder mehrere flächige Strombrücken (10) aufweist, die in Teilabschnitten des Bestromungsabschnittes auf den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) flächig anliegen und diese elektrisch derart kontaktieren, dass die Strombrücke (9) einen Stromteiler und/oder eine Überbrückung bildet, wobei die Strombrücken (9) einen geringeren spezifischen elektrischen Widerstand haben als die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8).

2. Heizsystem (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Strombrücke (9) zur Bildung eines Stromteiler die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) derart kontaktiert, dass in Stromflussrichtung vor und hinter dem durch den Stromteiler gebildeten Stromteilerabschnitt ein Heizabschnitt durch die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) gebildet wird.

3. Heizsystem (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stromteiler im Stromteilerabschnitt in Bezug auf die Heizabschnitte eine Wärmenenke bildet.

4. Heizsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei elektrisch voneinander isolierte, flächige Heizelemente (2) vorgesehen sind, die mittels mindestens einer Strombrücke (9) überbrückt sind, wobei die mindestens eine Strombrücke (9) an einem ersten Ende mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) des ersten flächigen Heizelementes (2a) und an einem gegenüberliegenden zweiten Ende mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern des zweiten flächigen Heizelementes (2b) elektrisch kontaktiert ist.

5. Heizsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine der Strombrücken (10) an einem ersten Ende am Anfang des Bestromungsabschnittes eines flächigen Heizelementes auf den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) flächig anliegt und diese elektrisch kontaktieren und an einem gegenüberliegenden zweiten Ende mit der elektrischen Spannungsquelle (3) verbunden oder verbindbar ist.

6. Heizsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der spezifische elektrische Widerstand der Strombrücken (10) weniger 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.

7. Heizsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Strombrücken (10) aus einem Material gebildet sind, das Kupfer und/oder Aluminium enthält.

8. Heizsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine der flächigen Strombrücken (10) maschen-, gitter-, oder netzförmig ausgebildet ist.

9. Heizsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wenigstens eine Heizelement (1) zusammen mit den kontaktierten Strombrücken (10) zwischen elektrisch isolierenden Glasfaserschichten angeordnet ist.

10. Strömungskörper mit einer Strömungsoberfläche (110), die zur Umströmung durch ein gasförmiges Fluid ausgebildet ist, wobei der Strömungskörper ein Enteisungssystem zum Enteisen zumindest eines Teils der Strömungsoberfläche (110) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Enteisungssystem ein Heizsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist, das mit einer elektrischen Spannungsquelle (3) zum Anlegen einer elektrischen Spannung kontaktiert ist.

11. Strömungskörper nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungskörper eine Vorderkante eines Flugzeugflügels, Klappen eines Flugzeugflügels, Leitwerk eines Flugzeuges, Rotorblätter eines Hubschraubers oder Rotorblätter einer Windkraftanlage ist.

12. Verfahren zur Herstellung eines Heizsystems (1) zur elektrothermischen Temperierung, 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 (10) durch Anlegen der mindestens einen Strombrücke (9) an die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) in zumindest einem Teilabschnitt derart, dass die Strombrücke (9) einen Stromteiler oder eine Überbrückung bildet.

ckung bildet, wobei die Strombrücken (10) einen geringeren spezifischen elektrischen Widerstand haben als die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8),  
– 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.

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Strombrücke (9) zur Bildung eines Stromteilers mit den elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) derart kontaktiert wird, dass in Stromflussrichtung vor und hinter dem durch den Stromteiler gebildeten Stromteilerabschnitt ein Heizabschnitt durch die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) gebildet wird, wenn die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) bestromt werden.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch den Stromteiler im Stromteilerabschnitt in Bezug auf die Heizabschnitte eine Wärmesenke gebildet wird.

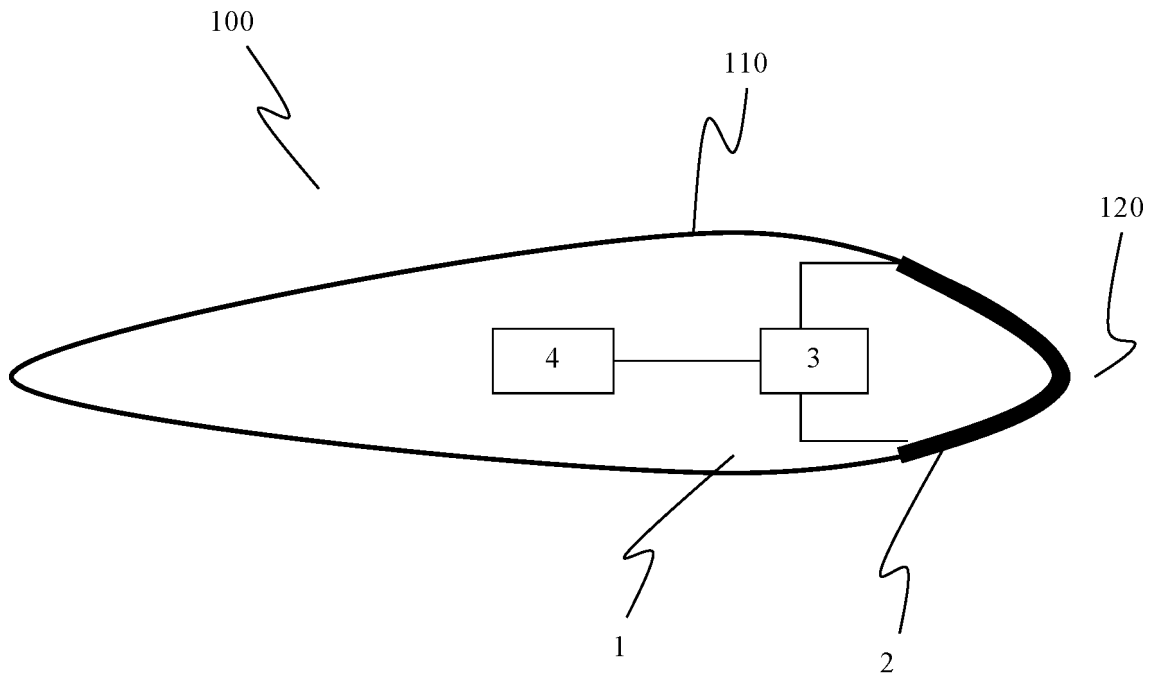
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wenigstens zwei voneinander elektrisch isolierend vorgesehene Heizelemente (2) durch das Einbringen der elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) in das Formwerkzeug gebildet werden, wobei die elektrisch leitfähigen Verstärkungsfasern (8) der Heizelemente (2) durch mindestens eine Strombrücke (9) überbrückt werden, indem die mindestens eine Strombrücke (9) 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.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **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.

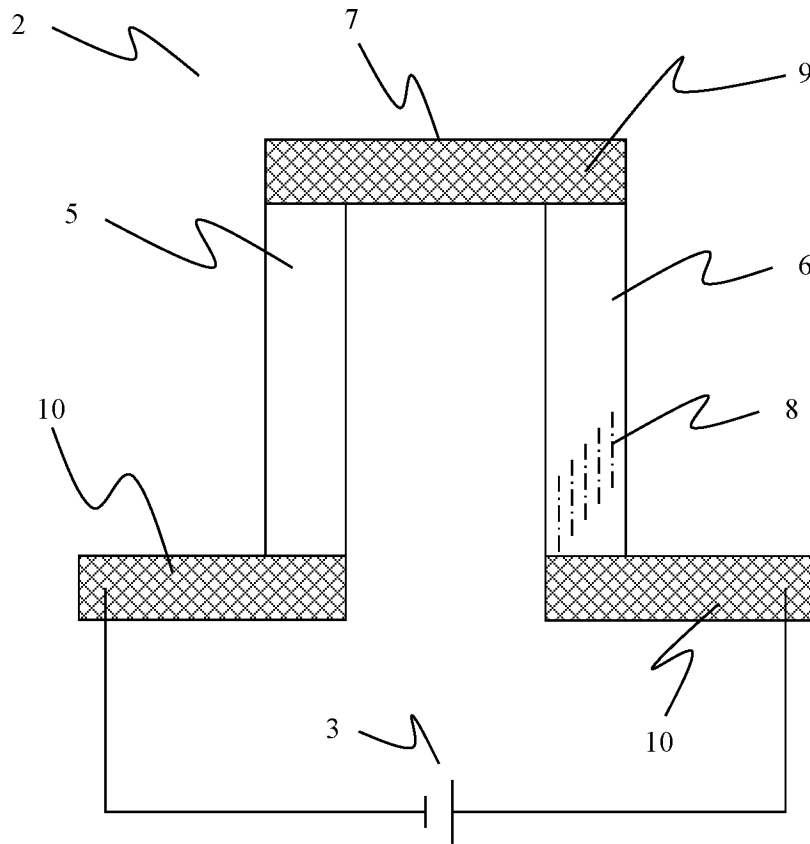
17. Verfahren zur Herstellung eines Strömungskörpers mit einem Enteisungssystem, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Enteisungssystem gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15 hergestellt wird, wenn der Strömungskörper hergestellt wird.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

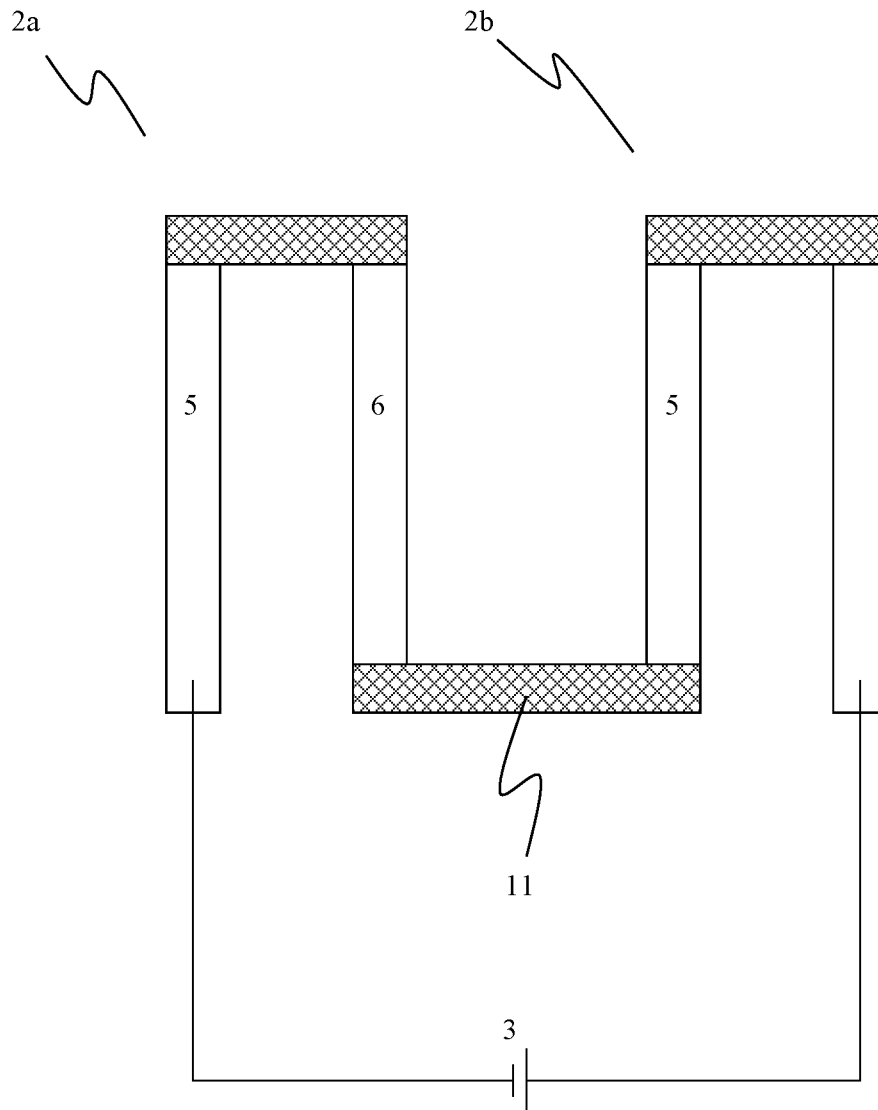
Anhängende Zeichnungen



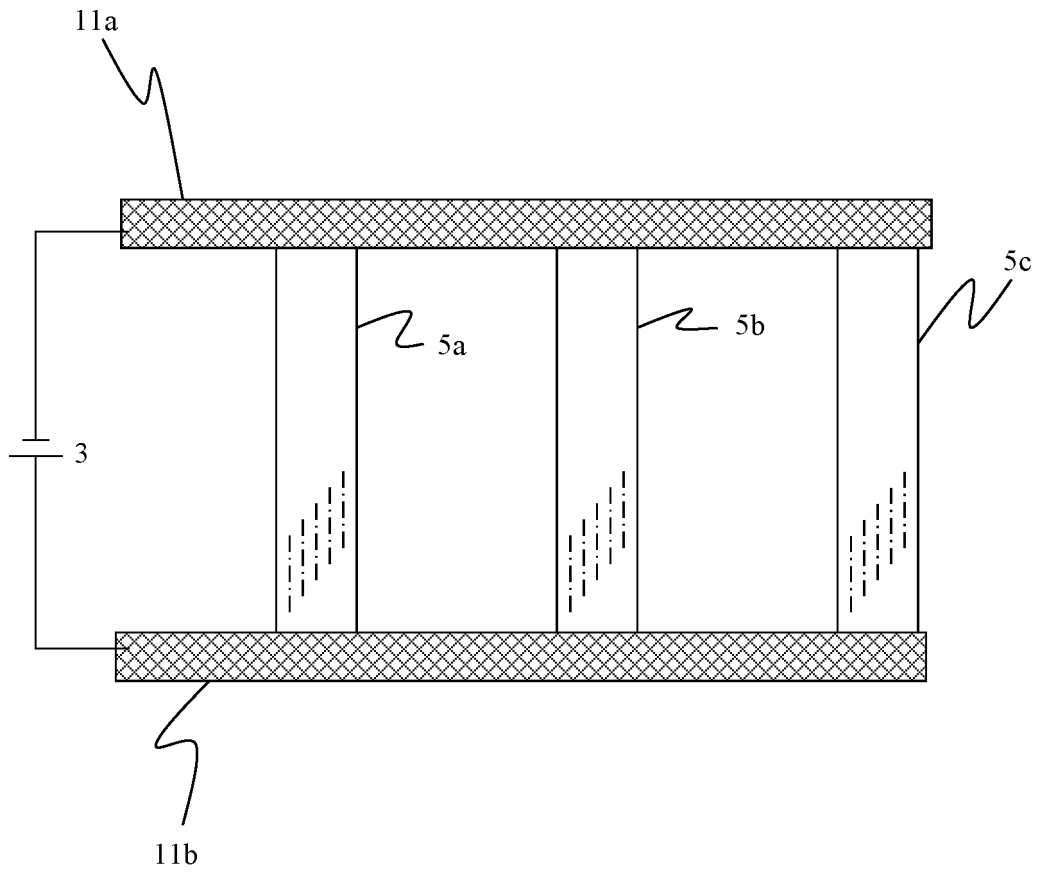
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4