

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21)

Anmeldenummer:

A 50608/2020

(22)

Anmeldetag:

29.05.2018

(43)

Veröffentlicht am:

15.06.2021

(51)

Int. Cl.:

H02K 3/34

H02K 3/30

(2006.01)

(2006.01)

(62)

Ausscheidung aus A 50436/2018

(56)

Entgegenhaltungen:

DE 112013004722 T5

JP 2017163666 A

EP 3267563 A1

EP 3226258 A1

EP 3043355 A1

US 2017004900 A1

EP 2824801 A1

(71)

Patentanmelder:

Miba eMobility GmbH

4663 Laakirchen (AT)

(72)

Erfinder:

Eilenberger Andreas Dr.

3552 Lengenfeld (AT)

(74)

Vertreter:

Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt

GmbH

4580 Windischgarsten (AT)

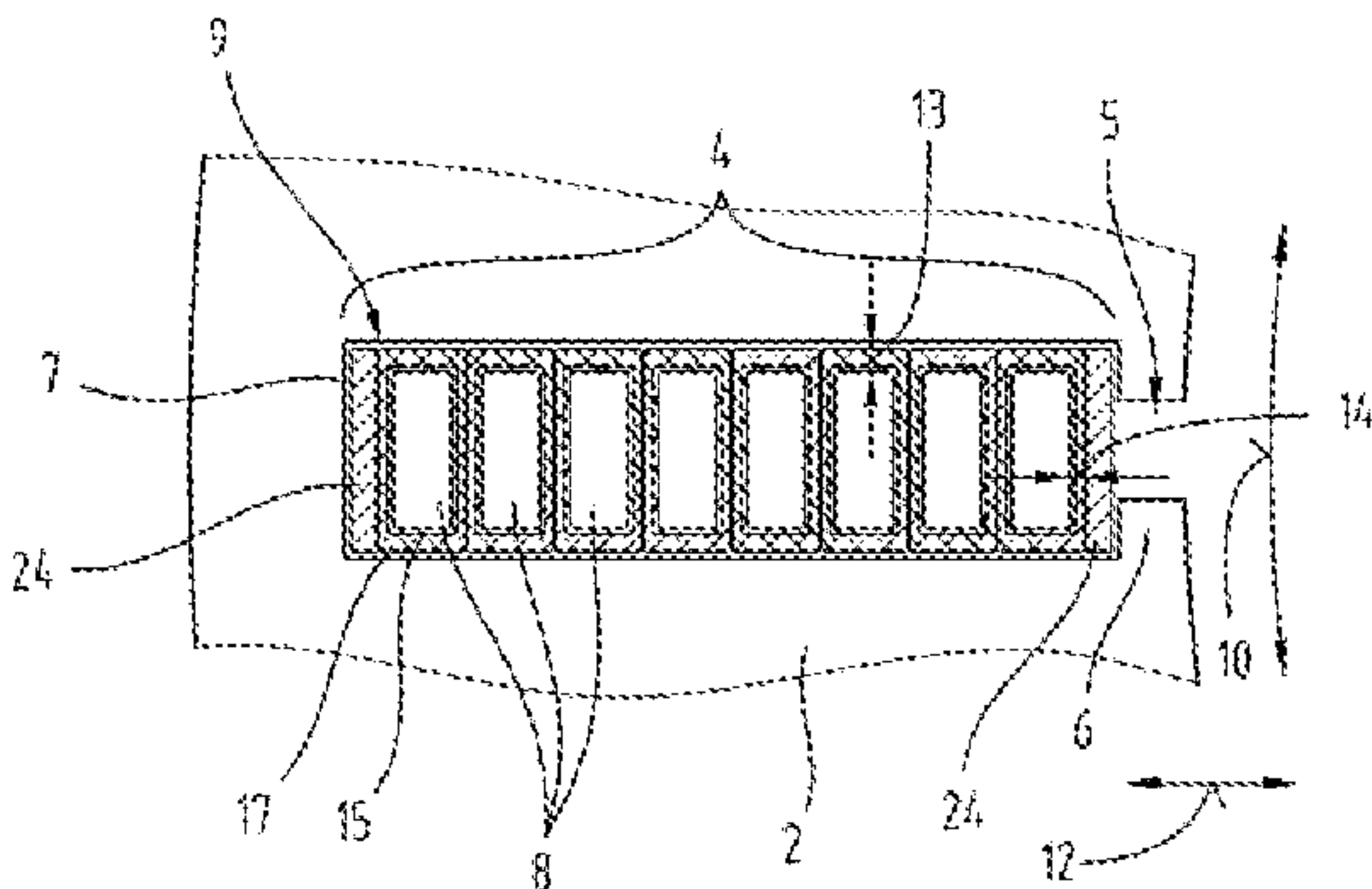
(54)

Stator mit Isolationsschicht

(57)

Die Erfindung betrifft einen Stator (1) für eine elektrische Maschine, umfassend ein Blechpaket (2) mit mehreren in Umfangsrichtung (10) um eine Längsachse (3) gleichmäßig verteilten und in eine Längsrichtung (11) des Blechpakets (2) durchgehend erstreckten Nuten (4) zur Aufnahme von jeweils zumindest zwei elektrischen Leitern (8) mit im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt, die elektrischen Leiter (8) voneinander und gegenüber dem Blechpaket (2) mittels zumindest einer Isolationsschicht (9) in Radialrichtung (12) und Umfangsrichtung (10) ummantelnd, sowie in Längsrichtung (11) zumindest über eine Statorhöhe (1) des Stators (1), isoliert sind, wobei die zumindest eine Isolationsschicht (9) zur fehlerfreien Isolierung ein in Umfangsrichtung (10) und Radialrichtung (12) durchgehend geschlossen thermoplastisches Hochleistungspolymer umfasst. Zwischen einem Luftspalt (5) und/oder einem Zahnkopf (6) der jeweiligen Nut (4) und/oder an einem Nutgrund (7) und der zumindest einen Isolationsschicht (9) oder einer Topschicht (17) oder einer Stützschrift (19) des in Radialrichtung (12) benachbart angeordneten elektrischen Leiters (8) ist eine zusätzliche elektrisch isolierende Barrierschicht (24) angeordnet.

Fig.4c



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen Stator (1) für eine elektrische Maschine, umfassend ein Blechpaket (2) mit mehreren in Umfangsrichtung (10) um eine Längsachse (3) gleichmäßig verteilten und in eine Längsrichtung (11) des Blechpakets (2) durchgehend erstreckten Nuten (4) zur Aufnahme von jeweils zumindest zwei elektrischen Leitern (8) mit im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt, die elektrischen Leiter (8) voneinander und gegenüber dem Blechpaket (2) mittels zumindest einer Isolationsschicht (9) in Radialrichtung (12) und Umfangsrichtung (10) ummantelnd, sowie in Längsrichtung (11) zumindest über eine Statorhöhe (1) des Stators (1), isoliert sind, wobei die zumindest eine Isolationsschicht (9) zur fehlerfreien Isolierung ein in Umfangsrichtung (10) und Radialrichtung (12) durchgehend geschlossenes thermoplastisches Hochleistungspolymer umfasst. Zwischen einem Luftspalt (5) und/oder einem Zahnkopf (6) der jeweiligen Nut (4) und/oder an einem Nutgrund (7) und der zumindest einen Isolationsschicht (9) oder einer Topschicht (17) oder einer Stützsicht (19) des in Radialrichtung (12) benachbart angeordneten elektrischen Leiters (8) ist eine zusätzliche elektrisch isolierende Barrierschicht (24) angeordnet.

Fig. 4c

Die Erfindung betrifft einen Stator für eine elektrische Maschine, wobei die elektrischen Leiter mit einer Isolationsschicht in Umfangs- und Radialrichtung derart ummantelt sind, dass eine besonders hohe Packungsdichte der elektrischen Leiter ermöglicht wird.

Prinzipiell sind derartige elektrische Maschinen sowie die hierfür verwendeten Statoren aus dem Stand der Technik bekannt, sodass zu weiteren Einzelheiten dazu auf diesen einschlägigen Stand der Technik verwiesen sei. Eine elektrische Maschine kann vorzugsweise auch einen Rotor umfassen, welcher beispielsweise auf einer drehbaren Welle verdrehfest angeordnet sein kann. Im Betrieb einer z.B. als Elektromotor ausgebildeten elektrischen Maschine wird aufgrund der erzeugten Magnetfelder der Rotor in eine Drehbewegung versetzt. Der Stator ist aber prinzipiell auch ohne Rotor für die Erzeugung eines Drehfeldes einsetzbar.

Statoren für elektrische Elektromotoren umfassen elektrische Spulen die in Form von Wicklungen um einen elektrisch und magnetisch leitfähigen Kern ausgeführt sind und bei Stromdurchfluss der Spulen in dem Statorpaket ein Magnetfeld erzeugen, welches zum Antrieb des Elektromotors erforderlich ist. Diese Wicklungen können z.B. dadurch erzeugt werden, dass U-förmig gebogene Leiterelemente oder auch stabförmige Leiterelemente in das Statorpaket gesteckt werden und die vorgesehenen Leiterelemente zu Wicklungen verschalten werden.

Die teils recht hohe elektrische Spannung, welche an den einzelnen elektrischen Leitern im Betrieb anliegt kann zur Ausbildung eines elektrischen Kontakts zwischen den Leitern und/oder zum Blechpaket führen. Dies zu vermeiden ist es er-

forderlich die elektrischen Leiter gegeneinander, sowie zum Blechpaket hin zu isolieren, wie dem Fachmann bekannt. Die einschlägigen Normen, wie etwa EN 60664-1, schreiben hierbei die Ausbildung einer zweilagigen Isolationsschicht, oder zumindest einer absolut fehlerfreien Isolationsschicht vor.

In der Vergangenheit stellte die Isolation der elektrischen Leiter mittels einer auf dem elektrischen Leiter abgeschiedenen Lackschicht und einem harzgetränkten Isolationspapier eine sehr gängige Methode dar die Isolationserfordernisse zu erfüllen. Die Aufbringung der Lackschicht mit einer Dicke von einigen 10 µm bis einige 100 µm auf dem elektrischen Leiter erfordert ein Aushärten dergleichen, welches häufig in einem Ofen durchgeführt wird und sowohl zeit- als auch kostenintensiv ist. Ebenso sind das Einführen des Nutpapiers und das daran anschließende Einfügen der elektrischen Leiter mit hohem technischen Aufwand verbunden.

Eine Alternative wird in der DE102015216840A1 offenbart. Es wird darin ein Stator für eine elektrische Maschine mit elektrischen Leitern beschrieben, welche mittels einem Isolationselement gegen das Blechpaket isoliert sind. Das Isolationselement ist dabei aus einem thermoplastischen Schlauchelement gebildet, welches den jeweiligen elektrischen Leiter umschliesst bzw. ummantelt. Somit wird anstatt des Nutpapiers der Zusammenbau jedes elektrischen Leiters mit einem dafür vorgesehenen Schlauchelement vor dem Einfügen in den Stator erforderlich, was einen signifikanten Prozessaufwand bedeutet.

Eine weitere Möglichkeit zur Erreichung einer ausreichenden Isolation wird in EP3043355A1 offenbart. Hierin werden elektrische Leiter mit einer mehrlagigen Isolierschicht beschrieben, welche einen Urethanhaltigen, duroplastischen, Lack als Haftschrift zu einem darauf abgeschiedenen thermoplastischen Kunststoff aufweisen. Die Lackschicht muss jedoch vor der Weiterverarbeitung in einem Ofen ausgehärtet werden, bevor die zweite Lage bzw. Topschicht aufgebracht werden kann, was mit erhöhtem Prozessaufwand verbunden ist.

US2015243410A1 führt das Problem auf, dass eine Isolationsschicht auf elektrischen Leitern aus mehreren duroplastischen Lackschichten mit zunehmender Anzahl an Lackschichten zu verringerter Haftung zwischen den einzelnen Lackschichten führt und zudem Blasenbildung bevorzugt auftritt. Es wird darin vorgeschlagen eine Isolationsschicht aus einer Mehrlagenschicht aufzubauen, wobei die äußerste Schicht aus einem thermoplastischen Kunststoff besteht und mittels einer duroplastischen Lackschicht mit dem elektrischen Leiter zu verbinden. Hierbei ist jedoch ebenso ein Aushärten der Basislackschicht erforderlich, was mit einem hohen Prozessaufwand verbunden ist.

Grundsätzlich ist es aus dem Stand der Technik bekannt, individuelle Isolationsschichten mit unterschiedlicher Schichtdicke auf einen elektrischen Leiter aufzubringen. In der JP2017163666A ist beispielsweise eine Statorwicklung und ein Stator bekannt geworden, dessen elektrische Leiter mit einer Enamel-Beschichtung und darüber mit einer Isolationsschicht aus einem Polymer versehen ist. Diese Isolationsschicht weist erste und zweite Teile auf, wobei eine maximale, radiale Schichtdicke der zweiten Teile dünner ist als eine maximale Umfangsschichtdicke der ersten Teile.

In der US2017004900A1 und der DE112013004722T5 sind ähnlich ausgestaltete Leiter mit Isolationsschichten unterschiedlicher Schichtdicke offenbart. Die US2017004900A1 beschreibt eine Bläschen enthaltene Isolationsbeschichtung, wobei ein thermoplastisches Polymer zunächst auf einen Leiter aufgebracht, mit Gas beladen und geschäumt und anschließend in Radialrichtung auf eine geringere Schichtdicke gestaucht bzw. gepresst wird. Die DE112013004722T5 beschreibt eine Isolationsbeschichtung aus einem Isolierharz, welches auf einen Leiter aufgebracht und eingebrannt wird.

Des Weiteren ist es grundsätzlich bekannt, an einem Grund einer Nut eines Stators eine zusätzliche Isolierung einzufügen. Die DE112013004722T5 offenbart zum Beispiel ein Isolierpapier zwischen einem Kernrücken einer Nut und einem Leiterabschnitt, der sich im tiefsten Bereich einer Nut befindet, anzuordnen. Jedoch ist im Zuge der Herstellung eines Stators die Handhabung solcher Isolierpa-

piere aufwendig, und können derartige Isolierpapiere auch hinsichtlich Langlebigkeit unzuverlässig sein. Auch in der US20160156241A1 sind zusätzliche Isolierplatten bzw. -streifen an einem Nutgrund bzw. an einer Nutöffnung angegeben, welche Isolierplättchen allerdings nicht näher spezifiziert sind.

Bei der Herstellung von kompakten und dennoch leistungsstarken Statoren elektrischer Maschinen kann zudem die Leistung bzw. der Wirkungsgrad stark von den eingesetzten Isolationsmaterialien und der Anzahl der Wicklungen bzw. der Packungsdichte der elektrischen Leiter abhängen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden und einen Stator zur Verfügung zu stellen, welcher eine ausreichend gute Isolation zwischen den elektrischen Leitern, sowie zum Blechpaket mit einem besonders hohem Füllfaktor an elektrischen Leitern in den dafür vorgesehenen Nuten des Blechpakets kombiniert.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung und ein Verfahren gemäß den Ansprüchen gelöst.

Der erfindungsgemäße Stator für eine elektrische Maschine, umfasst dabei ein Blechpaket mit mehreren in einer Umfangsrichtung und um eine Längsachse gleichmäßig verteilten, sowie in eine Längsrichtung des Blechpakets durchgehend erstreckten Nuten, welche zur Aufnahme von jeweils zumindest zwei elektrischen Leitern mit im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt vorgesehen sind. Die elektrischen Leiter sind dabei voneinander und gegenüber dem Blechpaket mittels zumindest einer Isolationsschicht in Radialrichtung und Umfangsrichtung ummantelnd, sowie in Längsrichtung zumindest über eine Statorhöhe des Stators, isoliert. Hierbei umfasst die zumindest eine Isolationsschicht zur fehlerfreien Isolierung ein in Umfangsrichtung und Radialrichtung durchgehend geschlossen und vorzugsweise mittels eines Extrusionsprozess direkt auf dem elektrischen Leiter angeformtes, thermoplastisches Hochleistungspolymer. Die Isolationsschicht weist zumindest in Umfangsrichtung eine Gesamtumfangsschichtdicke auf, welche zumindest das 1.5-fache bis 3-fache, bevorzugt 1.8-fache bis 2.2-fache, einer Gesamtradialschichtdicke in Radialrichtung des jeweiligen elektrischen Leiters aufweist.

Eine derartig durchgehend ausgebildete Isolationsschicht aus einem thermoplastischen Hochleistungspolymer kann die erforderlichen Isolationseigenschaften bereits als einlagige Schicht erfüllen. Die direkte Anformung auf dem elektrischen Leiter kann durch einen direkten Auftrag z.B. einen Walzprozess, einem Gießprozess oder bevorzugt mittels Extrusionsprozess erfolgen. Auf diese Weise lassen sich sowohl eine ausreichend gute Haftung auf dem, in der Regel aus Kupfer bestehenden, elektrischen Leitern verwirklichen. Extrudierte Hochleistungspolymer weisen dabei oftmals charakteristische Oberflächenstrukturen auf, welche **naturgemäß in Extrusionsrichtung als eine Art „Extrusionsriefen“** erkennbar sind und somit deutlich von einer herkömmlich aufgetragenen Lackschicht unterscheidbar sind.

Derartig ummantelte elektrische Leiter sind relativ schnell, komfortabel und sicher in das Blechpaket einführbar, da kein zusätzliches Isolationselement oder auch Nutpapier zwischen den Leitern und dem Blechpaket vorgesehen werden muss. Es hat sich überraschend gezeigt, dass die Isolation zwischen den elektrischen Leitern, also in Radialrichtung, vergleichsweise schlank gewählt werden kann, wenn die Gesamtumfangsschichtdicke im angegebenen Verhältnis die Radialgesamtschichtdicke übersteigt. Durch die unterschiedliche Schichtdickenverteilung in Umfangsrichtung und Radialrichtung eines jeden elektrischen Leiters, kann somit auf relativ einfache Weise die Packungsdichte der Leiter in der Nut erhöht werden. Es hat sich gezeigt, dass **dieses auch als „Kupfer-Füllfaktor“ bezeichnete Designkriterium** die Erhöhung des Wirkungsgrades des Stators, ohne einer Einbuße der Isolationseigenschaften, erlaubt. Zudem kann die Sicherheit gegen Beschädigung beim Einführen der elektrischen Leiter in das Blechpaket oder auch bei nachfolgenden Biegevorgängen zum Ausbilden der Wicklungen bzw. Spulen durch die erhöhte Umfangsschichtdicke positiv beeinflusst werden.

Des Weiteren ist vorgesehen, dass zwischen einem Luftspalt und/oder einem Zahnkopf der jeweiligen Nut und/oder an einem Nutgrund und der zumindest einen Isolationsschicht oder einer Topschicht oder einer Stützsicht des in Radialrichtung benachbart angeordneten elektrischen Leiters eine zusätzliche elektrisch

isolierende Barrierschicht, ausgewählt aus der Gruppe Polyimid (PI), Polyamideimid (PAI), Polyacryletherketon (PAEK), Polyphenylensulfon (PPSU), Polyetheretherketon (PEEK), angeordnet ist.

Diese Maßnahme kann dazu genutzt werden, auf relativ einfache Weise die erforderlichen Isolationseigenschaften in Radialrichtung gegenüber dem Blechpaket sicherzustellen. Es ist dabei vorteilhaft, dass keine speziell für eine jeweilige Position in der Nut vorgesehenen elektrischen Leiter mit voneinander unterschiedlichen Gesamtradialschichtdicken bereitgestellt werden müssen. Dies bringt fertigungstechnische Vorteile mit sich, da sämtliche elektrischen Leiter auf die gleiche Weise gefertigt werden können. Es kann daher ausreichen, wenn sämtliche Leiter eine vorgegebene Gesamtumfangsschichtdicke aufweisen, welche die Gesamtradialschichtdicke des elektrischen Leiters im zuvor genannten Verhältnis übersteigt. Zudem kann vorgesehen sein, dass die Barrierschicht **auf den „zuinnerst“ und/oder „äußersten“ elektrischen Leitern aufgeklebt, aufgegossen, aufgespritzt und somit ebenso direkt angeformt werden kann.** Zur Herstellung derartiger Barrierschichten haben sich Polymere mit ausreichender Temperaturstabilität und elektrischen Isolationseigenschaften als besonders vorteilhaft erwiesen. Diese Polymere weisen zudem den Vorteil einer guten Verarbeitbarkeit, wie etwa Extrudier- und/oder Schweißbarkeit, auf und können auch durch Hochleistungspolymere gebildet sein.

Die Gesamtumfangsschichtdicke und die davon abhängige Gesamtradialschichtdicke kann vom Fachmann vorab in Anbetracht von der maximal anzulegenden Betriebsspannung U_{op} definiert werden.

Es hat sich gezeigt, dass eine vorgebbare maximale Betriebsspannung U_{op} des Stators zur Berechnung einer zulässigen Untergrenze für die Gesamtumfangsschichtdicke herangezogen werden kann. Auf diese Weise können unterschiedliche Statorgrößen auf relativ einfache Weise mit dem gleichen Konzept verwirklicht werden, welche alle einen hohen Wirkungsgrad und einen hohen Kupfer-Füllfaktor aufweisen.

Des Weiteren kann es zweckmäßig sein, wenn die zumindest eine Isolations-schicht eine Gesamtumfangsschichtdicke t aufweist, welche mit der folgenden Formel berechnet werden kann:

$$t = S \cdot k \cdot C_{tol} \cdot U_{op} + d$$

Die Gesamtumfangsschichtdicke steht somit in Abhängigkeit einer vorgebbaren maximalen Betriebsspannung U_{op} , und kann durch das mathematische Ergebnis der Summe eines Korrekturfaktor d der Größe $-175 \mu\text{m}$ und dem Produkt eines Sicherheitsfaktors S der Größe $2,00$ mit einem Vorfaktor k der Größe $0,25 \mu\text{m/V}$ mit einem Toleranzfaktor C_{tol} im Bereich von $0,90$ bis $1,20$ und der vorgebbaren maximalen Betriebsspannung U_{op} im Bereich von 400 V bis 1400 V , berechnet werden.

Üblicherweise weist der Toleranzfaktor C_{tol} die Größe 1 auf, kann jedoch aufgrund materialbedingter Toleranzen einen Toleranzfaktor C_{tol} von $0,9$ bis $1,2$ annehmen. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Gesamtumfangsschichtdicke in Umfangsrichtung eine ausreichende Isolation zum Blechpaket aufweist und die Gesamtradialschichtdicke eine ausreichende Isolation zwischen den elektrischen Leitern aufweist.

Ferner kann vorgesehen sein, zumindest zwei, bevorzugt vier oder mehr, elektrische Leiter mittels einer zusätzlichen in Radialrichtung und Umfangsrichtung die zumindest zwei elektrischen Leiter zusammen ummantelnden Stützschrift verbunden sind.

Diese Maßnahme erlaubt, dass mehrere elektrische Leiter auf einfache Weise miteinander nicht leitfähig verbunden werden können. Dadurch wird das Einführen in die jeweilig vorgesehenen Nuten des Stators signifikant erleichtert und kann vorzugsweise automatisiert durchgeführt werden. Ferner können eventuelle Beschädigungen, wie etwa ein Zerkratzen, der Isolationsschicht beim Einführen des somit entstandenen Leiterpakets vermieden werden. Die zumindest zwei, bevorzugt vier oder mehr, elektrischen Leiter werden durch die gemeinsame Stützschrift zusammen ummantelt und weisen bevorzugt bereits vor der Aufbringung der Stützschrift die lokalen Gesamtumfangsschichtdicken bzw. Radialumfangsschichtdi-

cken auf. Das Verhältnis der Gesamtumfangsschichtdicke zur Radialumfangsschichtdicke eines jeweiligen Leiters kann jedoch auch durch die Stützschrift erreicht werden. Hierdurch kann sich der Vorteil ergeben, dass die einzelnen elektrischen Leiter relativ dünne bzw. schlanke Isolationsschichten in Radialrichtung zueinander bzw. in Umfangsrichtung aufweisen können, was einer Beschädigung einer nachfolgenden Biegeoperation der Leiterenden außerhalb des Stators vorbeugen kann. Die Stützschrift ist primär dazu vorgesehen nur innerhalb des Leiterpakets als gemeinsame Ummantelung der elektrischen Leiter zu dienen und somit in Längsrichtung im Wesentlichen auf die Höhe des Stators bzw. der Nuten begrenzt.

Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass die Gesamtradialschichtdicke der in Radialrichtung an einem Nutgrund und/oder an einem Luftspalt und/oder dem Zahnkopf der jeweiligen Nut benachbart angeordneten elektrischen Leiter in Radialrichtung an der dem Nutgrund bzw. dem Zahnkopf und/oder dem Luftspalt zugewandten Seite zumindest das 1.5-fache bis 3-fache, bevorzugt 1.8-fache bis 2.2-fache, der Gesamtradialschichtdicke eines dazu in Radialrichtung benachbart angeordneten elektrischen Leiters, bevorzugt 200 bis 500 µm, aufweist.

Durch diese Ausführungsform wird ermöglicht, dass jene in Radialrichtung benachbart angeordneten elektrischen Leiter eine relativ schlanke Isolationsschicht zueinander aufweisen können und **lediglich die in Radialrichtung „zuinnerst“ und/oder „äußerst“ angeordneten elektrischen Leiter** eine Art zusätzliche Isolation durch die erhöhte Gesamtradialschichtdicke der jeweiligen elektrischen Leiter aufweisen. Dies kann besonders bei mehr als vier elektrischen Leitern, wie etwa sechs oder acht, von Vorteil sein, da der Kupfer-Füllfaktor in der Nut erhöht werden kann und die Isolationsschicht nur an den Bereichen in Radialrichtung zum Zahnkopf und/oder dem Luftspalt und/oder dem Nutgrund der jeweiligen Nut zusätzlich verdickt ausgebildet ist. Diese Maßnahme kann außerdem dazu dienen, eine Verspannung der elektrischen Leiter, durch die erhöhte Gesamtradialschichtdicke in Radialrichtung der außen und/oder innenliegenden elektrischen Leiter auf das Leiterpaket auszuüben. Dies begünstigt die Betriebssicherheit und kann Vibrationen, oder

auch Problemen der Dauerfestigkeit der Isolationsschicht, während der Anwendung vorbeugen.

Vorteilhaft ist auch eine Ausprägung, gemäß welcher vorgesehen sein kann, dass die Isolationsschicht eine erste, direkt auf dem elektrischen Leiter angeformte Basisschicht mit einer Basisschichtdicke und eine zweite, direkt auf der ersten Basisschicht, vorzugsweise mittels eines Extrusionsprozess, angeformte Topschicht mit einer Topschichtdicke umfasst.

Die relativen Topschicht- bzw. Basisschichtdicken können je nach Anwendung innerhalb der zuvor genannten Verhältnisse der Gesamtradialschichtdicke und/oder Gesamtumfangsschichtdicke durch den Fachmann optimiert werden. Dieses Konzept ist zudem sinngemäß auch auf drei oder mehrere Isolationsschichtlagen übertragbar. Der Vorteil einer zumindest zweilagig ausgebildeten Isolationsschicht, welche direkt auf dem elektrischen Leiter angeformt wurde, besteht vorrangig darin, dass etwaige, herstellungsbedingte Fehlstellen der Basisschicht durch die zweite Topschicht verschlossen bzw. „geheilt“ werden können. Die Anformung eines Hochleistungspolymers mittels eines Extrusionsprozesses hat sich hierbei als besonders vorteilhaft erwiesen, da die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung von Fehlstellen des Hochleistungspolymers an der gleichen Stelle in Umfangs- oder Radialrichtung entlang des elektrischen Leiters verschwindend gering ist. Dies begünstigt die Herstellungskosten und Betriebssicherheit und kann zudem die Kosten für eine aufwändige Prüfung auf Fehlerfreiheit gegenüber einer einlagig ausgebildeten Isolationsschicht deutlich reduzieren. Ein zusätzlicher Vorteil der zumindest zweilagigen Isolationsschicht kann in einer verbesserten Rissbeständigkeit gegenüber einer einlagig ausgebildeten Isolationsschicht bestehen.

Gemäß einer Weiterbildung ist es möglich, dass die Topschichtdicke zumindest in Umfangsrichtung zumindest das 1,5-fache bis 3-fache, bevorzugt 1.8-fache bis 2.2-fache der darunterliegenden Basisschichtdicke aufweist, welche Basisschichtdicke bevorzugt im Bereich von 10 bis 200 µm liegt.

Auf diese Weise kann auf sämtlichen elektrischen Leiter bei der Herstellung der Isolationsschicht eine im Wesentlichen einheitliche und dünne Basisschicht direkt

angeformt werden und die lokal erforderlichen Gesamtradial- und/oder Gesamtumfangsschichtdicken erst mit der Aufbringung der Topschicht eingestellt werden. Dies bietet einige prozesstechnische Vorteile und erlaubt unter anderem ein rasches und kostengünstiges Aufbringen der Isolationsschicht. Es hat sich gezeigt, dass eine sehr dünn ausgebildete Basisschicht von z.B. wenigen 10 µm bis ca. 200 µm je nach Anwendung ausreichend ist und etwaige Defekte oder Fehlstellen der Basisschicht effizient mittels der Topschicht geheilt werden können und gleichzeitig die lokalen Isolationseigenschaften erfüllt werden können.

Ferner kann es zweckmäßig sein, wenn zur Ausbildung zumindest eines Parallelleiters zumindest ein elektrischer Leiter zwei, zur Beaufschlagung mit gleicher elektrischer Potentialdifferenz vorgesehene Teilleiter umfasst, wobei die beiden korrespondierenden Teilleiter jeweils mittels der Basisschicht ummantelt sind und gemeinsam von der Topschicht ummantelt sind.

Die Ausbildung eines elektrischen Leiters als zwei parallele Teilleiter kann als „**Pin-Parallelisierung**“ bezeichnet werden und eine Reduktion von Stromverdrängungseffekten bewirken. Die Teilleiter sind dabei jeweils vorteilhafterweise durch eine sehr dünne Isolationsschicht voneinander getrennt, welche im vorliegenden Fall durch die Basisschicht ausreichend ausgebildet ist. Durch die Einstellung der Gesamtradialschichtdicke und/oder Gesamtumfangsschichtdicke durch die Topschicht kann die zuvor genannte Isolationsschicht derart ausgebildet werden, dass der Kupfer-Füllfaktor im Stator signifikant gegenüber einer einschichtig ausgebildeten Isolationsschicht erhöht werden kann. Es ist dabei fertigungstechnisch besonders vorteilhaft, wenn die Basisschicht im Wesentlichen homogen in Umfangs- und Radialrichtung den jeweiligen Teilleiter ummantelnd ausgebildet ist, da die Anordnung und Ummantelung durch die Topschicht am jeweiligen Parallelleiter relativ einfach eingestellt werden kann. Eine derartige Anordnung der Teil- und Parallelleiter erhöht zudem das Handling kann eine zusätzliche Stützfunktion der elektrischen Leiter innerhalb der Nut des Stators erfüllen.

Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass die Basisschichtdicke in Radialrichtung zwischen den korrespondierenden Teilleitern 10 bis etwa 100 µm, bevorzugt 10 bis etwa 50 µm, beträgt.

Auf diese Weise kann eine sehr kompakte Anordnung der Teilleiter zur Ausbildung der Parallelleiter erreicht werden.

Ferner kann es vorteilhaft sein, wenn die Basisschichtdicke in Radialrichtung an der in jeweils vom korrespondierenden Teilleiter abgewandten Seite in Radialrichtung und/oder Umfangsrichtung eine Basisschichtdicke von zumindest dem 5-fachen bis 15-fachen, bevorzugt 10-fachen bis 12,5-fachen, besonders bevorzugt von 100 bis 300 μm , der Basisschichtdicke zwischen den korrespondierenden Teilleitern aufweist.

Diese Maßnahme ermöglicht, dass die Teilleiter, welche beim Betrieb des Stators mit gleicher elektrischen Potentialdifferenz beaufschlagt werden, eine sehr effiziente Isolation bei gleichzeitig sehr geringem Abstand zueinander aufweisen können. Die Isolation zu benachbart angeordneten Teilleitern bzw. Parallelleitern wird durch das angegebene Verhältnis ausreichend ausgebildet und dennoch ein sehr hoher Kupfer-Füllfaktor erzielbar, wodurch der Wirkungsgrad des Stators erhöht werden kann.

Des Weiteren kann vorgesehen sein, dass die zumindest eine Isolationsschicht und/oder die Topschicht und/oder die Stützsicht in Radialrichtung zumindest einseitig zumindest einen, bevorzugt U- oder I-förmigen, Fortsatz zur Bildung zumindest eines in Längsrichtung des Stators erstreckten Kühlkanals aufweist.

Ein derartiger Fortsatz oder auch mehrere Fortsätze können auf relativ einfache Weise die elektrischen Leiter gegenüber dem Nutgrund und/oder dem Zahnkopf und/oder dem Luftspalt beabstanden. Derartige Fortsätze können vorteilhafterweise während der Anformung der Isolationsschicht auf dem elektrischen Leiter durch z.B. Extrusion des Hochleistungspolymers direkt mitausgebildet werden. Die Fortsätze übernehmen dabei einerseits eine abstützende Funktion gegenüber dem Blechpaket. Andererseits können die verbleibenden Hohlräume zwischen dem benachbart angeordneten elektrischen Leiter und dem Blechpaket als Kühlkanal genutzt werden, welcher sich in Längsrichtung entlang des Blechpakets ausbildet. Ebenso können zur Optimierung des Materialeinsatzes diese Hohlräume zum Einbringen eines Tränk- oder Imprägnierharzes verwendet werden. Auf diese

Weise kann auf das Einbringen zusätzlicher, dem Stand der Technik bekannter, Elemente zur Ausbildung von Kühlkanälen verzichtet werden, wodurch sich die Herstellungskosten und der Aufwand beim Zusammenbau des Stators reduzieren lassen.

In einer besonderen Ausführungsform ist eine Kombination der Barrierschicht mit den zuvor genannten Fortsätzen als einteiliges Element möglich. Zum einen kann dadurch eine sehr einfache Herstellung der Fortsätze als Teil der Barrierschicht realisiert werden und zum anderen kann der Vorteil genutzt werden, dass sämtliche elektrischen Leitern mit einer im Wesentlichen gleichartigen Isolationsschicht ausgebildet sein können.

Entsprechend einer vorteilhaften Weiterbildung kann vorgesehen sein, dass die zumindest eine Isolationsschicht eine Haftfestigkeit von mehr als 35 g/mm, bevorzugt mehr als 45 g/mm, nach DIN EN ISO 527-1:2012-06 oder VDI 2019:2016-04 am elektrischen Leiter aufweist.

Die Anwendung eines Schältests nach DIN EN ISO 527-1:2012-06 oder VDI 2019:2016-04 ist dem Fachmann bekannt und wird in der Regel als Maß zur Beurteilung der Haftung der zumindest einen Isolationsschicht am elektrischen Leiter angesehen. Es hat sich gezeigt, dass eine Haftung der Isolationsschicht von mehr als 35 g/mm und mehr im Zusammenspiel mit den relativ dünnen Gesamtradschichtdicken und/oder Gesamtumfangsschichtdicken eine gute Umformbarkeit der elektrischen Leiter erlaubt, obwohl die elektrischen Leiter sehr dicht aneinander angeordnet sind. Es ist daher vorteilhaft, wenn bei erwünscht hohem Kupfer-Füllfaktor im Stator eine ausreichend hohe Haftfestigkeit der Isolationsschicht am elektrischen Leiter ausgebildet ist.

Insbesondere kann es vorteilhaft sein, wenn die zumindest eine Isolationsschicht und/oder die Basisschicht und/oder die Topschicht und/oder die Stützschicht und/oder die Barrierschicht aus einem thermoplastischen, bevorzugt im Wesentlichen lösungsmittelfreien, Hochleistungspolymer, bevorzugt aus der Gruppe Polyacryletherketon (PAEK), Polyphenylensulfon (PPSU), Polyetheretherketon (PEEK), ausgebildet ist.

Hochleistungspolymere haben den Vorteil, dass sie sich zur direkten Anformung auf einem rechteckig ausgebildeten elektrischen Leiter, insbesondere Kupfer oder Kupferlegierung, besonders gut eignen. Zudem weisen die genannten Hochleistungspolymere eine hohe elektrische Durchschlagfestigkeit bzw. Isolationseigenschaften auf in Kombination mit einer relativ hohen Temperaturbeständigkeit von mehr als 300°C auf. Die genannten thermoplastischen Hochleistungspolymere können ferner extrudiert und/oder geschweißt werden und direkt aufeinander angeformt werden. Es ist dabei möglich, dass sich bei Ausbildung der zumindest einen Isolationsschicht die verwendeten Hochleistungspolymere der einzelnen Schichtlagen voneinander unterscheiden. Es hat sich jedoch besonders vorteilhaft erwiesen, wenn artgleiche Hochleistungspolymere als z.B. Basis- und Topschicht und/oder Stützschicht oder auch Barrierschicht verwendet werden, da hierbei eine gute chemische und mechanische Anformung und/oder Anbindung aneinander ermöglicht wird. Zudem lässt sich hierbei die Komplexität des Herstellungsprozesses deutlich reduzieren, da beispielsweise nur ein Ausgangsmaterial bereitgestellt werden muss.

Ferner kann vorgesehen sein, dass die zumindest eine Isolationsschicht und/oder die etwaige Basisschicht und/oder die etwaige Topschicht und/oder die Stützschicht und/oder die Barrierschicht ein thermoplastisches Polymer, bevorzugt Hochleistungspolymer, mit einem kristallinen Anteil von zumindest 10 %, bevorzugt 20 %, bis etwa 50 % aufweist.

Durch diese Maßnahme kann die strukturelle Integrität der zumindest einen Isolationsschicht über einen großen Temperaturbereich in der Anwendung gewährleistet werden. Zudem erlaubt die Verwendung von semi-kristallinen Polymeren, insbesondere Hochleistungspolymeren, eine gute Umformbarkeit und hohe mechanische Stabilität, welches bei der Verformung der elektrischen Leiter vor und/oder nach dem Einführen in das Blechpaket von erheblicher praktischer Bedeutung sein kann um Rissen und/oder Fehlstellen der Isolationsschicht vorzubeugen.

Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

Es zeigen jeweils in stark vereinfachter, schematischer Darstellung:

- Fig. 1 Schrägansicht eines beispielhaften Stators mit teilweise mit elektrischen Leitern befüllten Nuten;
- Fig. 2 schematische Querschnittsdarstellung möglicher Ausführungsbeispiele von elektrischen Leitern in einer Nut mit einschichtig (a) bzw. zweischichtig (b) ausgebildeter Isolationsschicht, sowie Parallelleitern mit zweischichtiger Isolationsschicht (c);
- Fig. 3 schematische Querschnittsdarstellung durch eine Nut mit einem Leiterpaket und elektrischen Leitern mit einer zweischichtigen Isolationsschicht und einer das Leiterpaket umgebenden Stützschrift;
- Fig. 4 schematische Querschnittsdarstellung durch eine Nut mit einem Leiterpaket und elektrischen Leitern mit einer zweischichtigen Isolationsschicht und U-förmigen (a), oder I-förmigen (b) Fortsätzen, oder einer Barrierschicht (c) am Nutgrund und/oder Statorzahn;
- Fig. 5 schematische Darstellung der minimal erforderlichen Gesamtumfangsschichtdicke in Abhängigkeit der maximalen Betriebsspannung des Stators.

Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

In Fig. 1 ist ein Stator 1 in einer Schrägansicht schematisch dargestellt. Der Stator 1 umfasst dabei ein Blechpaket 2 in welche eine Vielzahl von Nuten 4 in Umfangsrichtung 10 verteilt angeordnet sind. Die Nuten 4 sind dabei in Längsrichtung 11

durchgehend ausgebildet. In Fig. 1 sind beispielhaft mehrere elektrische Leiter 8 vor ihrer Verbindung zu einer elektrischen Wicklung dargestellt. Analog dazu ist beispielhaft aus Fig. 1 ersichtlich, dass mehrere elektrische Leiter 8 zur Ausbildung einer Spule in Umfangsrichtung 10 verbogen sein können und miteinander korrespondierende elektrische Leiter 8 miteinander verbunden vorliegen können.

Die Nuten 4 des Blechpakets 2 können in Radialrichtung 12 in Richtung der Längsachse 3 des Stators 1 offen sein. Derartige Öffnungen können als Luftspalt 5 ausgebildet sein. Die Bereiche des Blechpakets 2, welche die Nuten 4 in Richtung Längsachse 3 begrenzen, können in Umfangsrichtung 10 als Zahnkopf 6 ausgebildet sein. An der gegenüberliegenden Seite der jeweiligen Nut 4 befindet sich der Nutgrund 7. Die genaue Anzahl an Nuten 4 sowie der darin aufgenommenen elektrischen Leiter 8 richtet sich nach der gewünschten Größe bzw. Auslegung der elektrischen Maschine.

Grundsätzlich können die Nuten 4 unterschiedlichste Querschnittsformen aufweisen, wobei sich zur Aufnahme von elektrischen Leitern 8 korrespondierende, rechteckige Querschnitte der Nuten 4 bewährt haben. Zur Isolation der einzelnen elektrischen Leiter 8 zueinander sowie zum Blechpaket 2 ist es erforderlich zumindest eine Isolationsschicht 9 fehlerfrei in Umfangsrichtung 10 sowie Radialrichtung 12 durchgehend geschlossen auszubilden, um die elektrischen Leiter 8 zumindest innerhalb des Blechpakets 2 zu ummanteln. In Fig. 2 bis Fig.4 sind unterschiedliche Ausführungsformen von Isolationsschichten 9 dargestellt.

Die vorliegende Erfindung erlaubt die Vermeidung von Isolationspapier und/oder der Aufbringung einer Lackschicht direkt am elektrischen Leiter 8, wodurch sich der Produktionsprozess sowohl der einzelnen elektrischen Leiter 8 als auch der Zusammenbau des Stators 1 relativ einfach gestalten lassen. Insbesondere durch die Ausbildung der zumindest einen Isolationsschicht 9 mit einer Gesamtumfangsschichtdicke 13 und einer Gesamtradialschichtdicke 14 im bevorzugt angegebenen Schichtdickenbereich können die elektrischen Leiter 8 ausreichend gegen Beschädigung während des Zusammenbaus des Stators 1 gesichert werden.

Die für eine ausreichende Isolation zwischen den elektrischen Leitern 8 erforderliche Mindestschichtdicke der Gesamtumfangsschichtdicke t_{13} kann in einem Verhältnis zu einer vorgebbaren maximalen Betriebsspannung U_{op} am Stator 1 angegeben werden:

$$t = S \cdot k \cdot C_{tol} \cdot U_{op} + d$$

Die Gesamtumfangsschichtdicke t_{13} steht somit in Abhängigkeit einer vorgebbaren maximalen Betriebsspannung U_{op} , und kann durch das mathematische Ergebnis der Summe eines Korrekturfaktor d der Größe -175 μm und dem Produkt eines Sicherheitsfaktors S der Größe 2,00 mit einem Vorfaktor k der Größe 0,25 $\mu\text{m/V}$ mit einem Toleranzfaktor C_{tol} im Bereich von 0,90 bis 1,20 und der vorgebbaren maximalen Betriebsspannung U_{op} im Bereich von 400 V bis 1400 V, berechnet werden.

Entsprechende beispielhafte Werte für bevorzugte Gesamtumfangsschichtdicken 13 sind in Tabelle 1 angegeben und in Fig. 5 veranschaulicht.

Tabelle 1:

$t = S \cdot k \cdot C_{tol} \cdot U_{op} + d$			
S= [-]	2,00	2,00	2,00
k= [µm/V)	0,25	0,25	0,25
C_{tol}= [-]	1,00	0,90	1,20
d= [µm]	-175,00	-175,00	-175,00
U_{op} [V]	t_{nom} [µm]	t_{min} [µm]	t_{max} [µm]
400	25	5	65
450	50	27,5	95
500	75	50	125
550	100	72,5	155
600	125	95	185
650	150	117,5	215
700	175	140	245
750	200	162,5	275
800	225	185	305
850	250	207,5	335
900	275	230	365
950	300	252,5	395
1000	325	275	425
1050	350	297,5	455
1100	375	320	485
1150	400	342,5	515
1200	425	365	545
1250	450	387,5	575
1300	475	410	605
1350	500	432,5	635
1400	525	455	665

Üblicherweise weist der Toleranzfaktor C_{tol} die Größe 1 auf, kann jedoch aufgrund materialbedingter Toleranzen einen Toleranzfaktor C_{tol} von 0,9 bis 1,2 annehmen. Der Einfachheit halber wird in der Beschreibung die Gesamtumfangsschichtdicke 13 als t bezeichnet, wobei in Tabelle 1 die bevorzugten Gesamtumfangsschichtdicken 13 durch t_{nom} angegeben sind. Die jeweils maximal und minimal zulässigen Gesamtumfangsschichtdicken 13 sind für die jeweilige Betriebsspannung U_{op} mit t_{max} bzw. t_{min} angegeben.

Die minimal zulässige Gesamtumfangsschichtdicke t 13 in Umfangsrichtung 10 weist eine ausreichende Isolation zum Blechpaket 2 und die Gesamtradialschichtdicke 14 Radialrichtung 12 weist damit eine ausreichende Isolation zwischen den elektrischen Leitern 8 auf.

In Fig. 2a ist schematisch die erfindungsgemäße zumindest eine Isolationsschicht 9 gezeigt. Die Isolationsschicht 9 weist dabei eine unterschiedliche Schichtdicke in Umfangsrichtung 10 zur Schichtdicke in Radialrichtung 12 auf. Dabei beträgt die Gesamtumfangsschichtdicke 13 zumindest das 1,5- bis 3-fache, bevorzugt 1,8- bis 2,2-fache, der Gesamtradialschichtdicke 14 des jeweiligen elektrischen Leiters 8. Erfindungsgemäß wird der Volumenanteil der elektrischen Leiter 8 im Vergleich zur Isolationsschicht 9 deutlich erhöht, wobei die erforderlichen Isolationseigenschaften zwischen den elektrischen Leitern 8 sowie zum Blechpaket 2 erhalten bleiben.

Wie aus den Fig. 1 bis 4 ersichtlich, kann durch die erfindungsgemäße direkte Anformung der Isolationsschicht 9 auf den elektrischen Leiter 8 auf Isolationspapier oder etwaige nicht dargestellte, weitere Isolationselemente verzichtet werden. Die Ausbildung der zumindest einen Isolationsschicht 9 mit einer jeweils in Radialrichtung reduzierten Gesamtradialschichtdicke 14 zwischen den elektrischen Leitern 8 erlaubt eine sehr hohe Stapeldichte der elektrischen Leiter 8 in Radialrichtung 12.

Ferner kann aus Fig. 2a eine Ausführungsform ersehen werden, in welcher der zu äußerst direkt am Nutgrund 7 benachbart angeordnete elektrische Leiter 8 zum Nutgrund 7 hinweisend eine höhere Gesamtradialschichtdicke 14 als in Radialrich-

tung 12 vom Nutgrund 7 wegweisend zum nächstliegend angeordneten elektrischen Leiter 8 aufweist. Die Einschränkung, dass die Gesamtumfangsschichtdicke 13 zumindest das 1,5- bis 3-fache, bevorzugt 1,8- bis 2,2-fache, der Gesamtradialschichtdicke 14 des jeweiligen elektrischen Leiters in Radialrichtung 12 zum benachbart angeordneten elektrischen Leiter 8 aufweist, bleibt dadurch unbeeinflusst. Eine derartige Ausbildung der Gesamtradialschichtdicke 14 kann analog am zuinnerst angeordneten elektrischen Leiter 8 im Bereich des Zahnkopfs 6 bzw. des Luftspalts 5 ausgebildet sein.

In Fig. 2b ist die Isolationsschicht 9 beispielhaft aus zwei Teilisolationsschichten aufgebaut. Eine erste Basisschicht 15 ist dabei direkt auf dem elektrischen Leiter 8 angeformt. Direkt auf der Basisschicht 15 ist eine Topschicht 17 angeformt. Die beiden Teilisolationsschichten bilden somit die zumindest eine Isolationsschicht 9 aus. In der gewählten exemplarischen Darstellung von Fig. 2b ist die Basisschicht 15 im Wesentlichen in Umfangsrichtung 10 sowie in Radialrichtung 12 homogen ausgebildet. Dabei wird das Verhältnis der Gesamtradialschichtdicke 14 zur Gesamtumfangsschichtdicke 13 durch unterschiedliche Topschichtdicken 18 in Radialrichtung 12 sowie Umfangsrichtung 10 ausgebildet. Analog zu Fig. 2a kann auch in Fig. 2b beispielhaft ersehen werden, dass der zum Nutgrund 7 benachbart angeordnete elektrische Leiter 8 eine zusätzliche Erhöhung der Gesamtradialschichtdicke 14 zum Nutgrund 7 hinweisend aufweist. In Fig. 2b sind zur Erläuterung lediglich zwei elektrische Leiter 8 dargestellt. Das Konzept ist für den Fachmann selbsterklärend auf die Befüllung der gesamten Nut 4 erstreckbar.

In Fig. 2c ist eine weitere mögliche und gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsform der Erfindung ersichtlich. Die elektrischen Leiter 8 können dabei als Parallelleiter 20 ausgebildet sein. Jeder Parallelleiter 20 besteht dabei aus zumindest zwei elektrischen Teilleitern 21, welche in der Anwendung mit der gleichen elektrischen Potentialdifferenz beaufschlagt werden. Die elektrischen Teilleiter 21 sind dabei jeweils in Umfangsrichtung 10 und Radialrichtung 12 lediglich mittels der Basisschicht 15 ummantelt. Die jeweils korrespondierenden Teilleiter 21 sind gemeinsam mit einer Topschicht 17 ummantelt. Auf diese Weise lassen sich Stromverdrängungseffekte der elektrischen Teilleiter 21 effizient reduzieren.

Wie in Fig. 2c schematisch dargestellt, wird das Verhältnis der Gesamtumfangsschichtdicke 13 zur Gesamtradialschichtdicke 14 durch die lokal unterschiedlich in Radialrichtung 12 und Umfangsrichtung 10 ausgebildete Topschichtdicke 18 erreicht.

Generell gilt die Einschränkung, dass die Gesamtumfangsschichtdicke 13 der jeweiligen elektrischen Leiter im angegebenen Verhältnis größer zur Gesamtradialschichtdicke des jeweiligen elektrischen Leiters 8 sein muss. Etwaige zusätzlich dickere lokale Gesamtradialschichtdicken 14 am Nutgrund 7 und/oder am Zahnkopf 6 bzw. Luftspalt 5 sind davon unbeeinflusst.

In Fig. 3 ist eine weitere mögliche Ausführungsform schematisch dargestellt, obwohl in Fig. 3 die jeweiligen elektrischen Leiter 8 eine Isolationsschicht 9 aus einer Basisschicht 15 sowie einer Topschicht 17 aufweisen, ist eine Ausführung als einlagige Isolationsschicht 9 ebenso denkbar. Wie in Fig. 3 schematisch angedeutet, werden zumindest zwei elektrische Leiter 8 mittels einer zusätzlichen Stützschicht 19 ummantelnd verbunden. Die Stützschicht 19 des Beispiels in Fig. 3 kann somit als mechanische Einfassung der acht elektrischen Leiter 8 innerhalb der Nut 4 angesehen werden. Bei Vorliegen einer Stützschicht 19 wird die Schichtdicke der Stützschicht 19 in Radialrichtung 12 als Teil der Gesamtradialschichtdicke 14 gezählt. Analog dazu umfasst die Gesamtumfangsschichtdicke 13 im dargestellten Beispiel neben der Basisschicht 15 und der Topschicht 17 ebenso die Stützschicht 19.

In Fig. 4 sind schematische Ausführungsbeispiele gezeigt, welche zur Ausbildung zumindest eines Kühlkanals 23 und/oder einer zusätzlichen elektrischen Isolation und Abstützung zum Nutgrund mittels Barrierschicht 24 dargestellt. Zur Optimierung des Materialeinsatzes können diese Kühlkanäle 23 bzw. Hohlräume auch zum Einbringen eines Tränk- oder Imprägnierharzes verwendet werden. Die Ausführungsbeispiele der Fig. 4a bis 4c zeigen beispielhaft elektrische Leiter 8 mit einer zumindest zweiteilig ausgebildeten Isolationsschicht 9. Die entsprechenden Ausführungsbeispiele sind jedoch ebenso mit einer einteilig ausgebildeten Isolationsschicht 9 denkbar.

Die Fig. 4a sowie 4b zeigen jeweils Ausführungsbeispiele in welchen der elektrische Leiter 8, welcher zum Nutgrund 7 der Nut 4 benachbart angeordnet ist, Fortsätze 22 aufweist. In Fig. 4a sind zwei Fortsätze 22 als Teil der Topschicht 17 in Radialrichtung derart ausgebildet, dass das Leiterpaket aus acht elektrischen Leitern innerhalb der Nut 4 verspannt ist. Des Weiteren bilden die beiden Fortsätze 22 in Fig. 4a in Richtung Nutgrund 7 einen in Längsrichtung 11 durchgehend erstreckten U-förmigen Kühlkanal 23 aus.

In Fig. 4b ist beispielhaft die Ausbildung eines I-förmigen Fortsatzes 22 als Teil der Topschicht 17 bzw. Isolationsschicht 9 des elektrischen Leiters 8 am Nutgrund 7 benachbart ausgebildet. Auf die dargestellte Weise kommt es zur Ausbildung zweier Kühlkanäle 23.

Die in den Fig. 4a und 4b dargestellten Beispiele sind mit den zuvor angesprochenen Beispielen der Fig. 2a bis 2c sowie Fig. 3 kompatibel, weshalb auf eine Wiederholung der Beschreibung verzichtet wird und auf die Beschreibung der jeweiligen Figuren verwiesen wird. Ferner ist es möglich derartige Fortsätze 22 ebenso oder auch eigenständig in Radialrichtung 12 zur Abstützung des Leiterpakets in Richtung Zahnkopf 6 auszubilden. In Fig. 4c ist eine weitere für sich eigenständige Ausführungsform dargestellt. Wiederum sind die Isolationsschichten 9 der jeweiligen elektrischen Leiter 8 als mehrteilige Isolationsschicht 9 umfassend jeweils eine Basisschicht 15 sowie eine Topschicht 17 dargestellt. Analog zur Beschreibung der Fig. 2a bis 4b ist die Ausbildung einer einteiligen Isolationsschicht 9 denkbar. In der gezeigten Darstellung in Fig. 4c weisen sämtliche elektrischen Leiter eine im Wesentlichen gleiche Gesamtradialschichtdicke 14 auf. Um die erforderlichen Isolationseigenschaften am Nutgrund 7 des benachbart angeordneten elektrischen Leiters 8 zu gewährleisten, ist eine zusätzliche Barrierschicht 24 vorgesehen. Eine derartige Barrierschicht 24 kann ebenso in Richtung Luftspalt 5 bzw. Zahnkopf 6 vorgesehen sein.

Sämtliche zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele beziehen sich auf zumindest eine Isolationsschicht 9, welche aus einem thermoplastischen, bevorzugt im Wesentlichen lösungsmittelfreien, Hochleistungspolymer ausgebildet ist. Ein derartiges Hochleistungspolymer wird bevorzugt aus der Gruppe PAEK, PPSU und

PEEK gewählt. Analog dazu können sowohl die Basisschicht und/oder die Topschicht und/oder die Stützschicht und/oder die Barrierschicht aus dieser Gruppe von Polymeren, insbesondere Hochleistungspolymeren, ausgewählt werden. Besonders bevorzugt weisen die genannten Schichten einen kristallinen Anteil von zumindest 10 %, besonders bevorzugt 20 %, bis etwa 50 % auf.

Die zumindest eine Isolationsschicht 9 wie auch die Basisschicht 15 und/oder die Topschicht 17 und/oder die Stützschicht 19 werden direkt am elektrischen Leiter 8 bzw. auf der darunter angeordneten Teilschicht der Isolationsschicht 9 angeformt. Die Anformung der zumindest einen Isolationsschicht 9 wird vorzugsweise mittels eines Extrusionsprozess vorgenommen. Derart ausgebildete Isolationsschichten 9 weisen bevorzugt eine Haftfestigkeit von mehr als 35 g/mm am elektrischen Leiter 8 auf.

Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten Ausführungsvarianten derselben eingeschränkt ist, sondern vielmehr auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind und diese Variationsmöglichkeit aufgrund der Lehre zum technischen Handeln durch gegenständliche Erfindung im Können des auf diesem technischen Gebiet tätigen Fachmannes liegt.

Der Schutzbereich ist durch die Ansprüche bestimmt. Die Beschreibung und die Zeichnungen sind jedoch zur Auslegung der Ansprüche heranzuziehen. Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen unterschiedlichen Ausführungsbeispielen können für sich eigenständige erfinderische Lösungen darstellen. Die den eigenständigen erfinderischen Lösungen zugrundeliegende Aufgabe kann der Beschreibung entnommen werden.

Sämtliche Angaben zu Wertebereichen in gegenständlicher Beschreibung sind so zu verstehen, dass diese beliebige und alle Teilbereiche daraus mitumfassen, z.B. ist die Angabe 1 bis 10 so zu verstehen, dass sämtliche Teilbereiche, ausgehend von der unteren Grenze 1 und der oberen Grenze 10 mit umfasst sind, d.h. sämtliche Teilbereiche beginnen mit einer unteren Grenze von 1 oder größer und enden

bei einer oberen Grenze von 10 oder weniger, z.B. 1 bis 1,7, oder 3,2 bis 8,1, oder 5,5 bis 10.

Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus Elemente teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

Bezugszeichenliste

1	Stator
2	Blechpaket
3	Längsachse
4	Nut
5	Luftspalt
6	Zahnkopf
7	Nutgrund
8	elektrischer Leiter
9	Isolationsschicht
10	Umfangsrichtung
11	Längsrichtung
12	Radialrichtung
13	Gesamtumfangsschichtdicke
14	Gesamtradialschichtdicke
15	Basisschicht
16	Basisschichtdicke
17	Topschicht
18	Topschichtdicke
19	Stützsicht
20	Parallelleiter
21	Teilleiter
22	Fortsatz
23	Kühlkanal
24	Barriereschicht

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Stator (1) für eine elektrische Maschine, umfassend ein Blechpaket (2) mit mehreren in Umfangsrichtung (10) um eine Längsachse (3) gleichmäßig verteilten und in eine Längsrichtung (11) des Blechpakets (2) durchgehend erstreckten Nuten (4) zur Aufnahme von jeweils zumindest zwei elektrischen Leitern (8) mit im Wesentlichen rechteckigen Querschnitt, die elektrischen Leiter (8) voneinander und gegenüber dem Blechpaket (2) mittels zumindest einer Isolationsschicht (9) in Radialrichtung (12) und Umfangsrichtung (10) ummantelnd, sowie in Längsrichtung (11) zumindest über eine Statorhöhe (1) des Stators (1), isoliert sind, wobei die zumindest eine Isolationsschicht (9) zur fehlerfreien Isolierung ein in Umfangsrichtung (10) und Radialrichtung (12) durchgehend geschlossen und, vorzugsweise mittels eines Extrusionsprozess, direkt auf dem elektrischen Leiter (8) angeformtes thermoplastisches Hochleistungspolymer umfasst, wobei die Isolationsschicht (9) zumindest in Umfangsrichtung (10) eine Gesamtumfangsschichtdicke (13) aufweist, welche zumindest das 1.5-fache bis 3-fache, bevorzugt 1.8-fache bis 2.2-fache, einer Gesamtradialschichtdicke (14) in Radialrichtung (12) des jeweiligen elektrischen Leiters (8) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass, zwischen einem Luftspalt (5) und/oder einem Zahnkopf (6) der jeweiligen Nut (4) und/oder an einem Nutgrund (7) und der zumindest einen Isolationsschicht (9) oder einer Topschicht (17) oder einer Stützschiicht (19) des in Radialrichtung (12) benachbart angeordneten elektrischen Leiters (8) eine zusätzliche elektrisch isolierende Barrierschicht (24), ausgewählt aus der Gruppe Polyimid (PI), Polyamimid (PAI), Polyacryletherketon (PAEK), Polyphenylensulfon (PPSU), Polyetheretherketon (PEEK), angeordnet ist.
2. Stator (1) nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Isolationsschicht (9) eine Gesamtumfangsschichtdicke t (13) aufweist, welche in Abhängigkeit einer vorgebbaren maximalen Betriebsspannung U_{op} , durch das mathematische Ergebnis der Summe eines Korrekturfaktor d der Größe

-175 μm und dem Produkt eines Sicherheitsfaktors S der Größe 2,00 mit einem Vorfaktor k der Größe 0,25 $\mu\text{m}/\text{V}$ mit einem Toleranzfaktor C_{tol} im Bereich von 0,90 bis 1,20 und der vorgebbaren maximalen Betriebsspannung U_{op} im Bereich von 400 V bis 1400 V, berechenbar ist.

3. Stator (1) nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei, bevorzugt vier oder mehr, elektrische Leiter (8) mittels einer zusätzlichen in Radialrichtung (12) und Umfangsrichtung (10) die zumindest zwei elektrischen Leiter (8) zusammen ummantelnden Stützschrift (19) verbunden sind.

4. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die Gesamtradialschichtdicke (14) der in Radialrichtung (12) an einem Nutgrund (7) und/oder an einem Luftspalt (5) und/oder dem Zahnkopf (6) der jeweiligen Nut (4) benachbart angeordneten elektrischen Leiter (8) in Radialrichtung (12) an der dem Nutgrund (7) bzw. dem Zahnkopf (6) und/oder dem Luftspalt (5) zugewandten Seite zumindest das 1.5-fache bis 3-fache, bevorzugt 1.8-fache bis 2.2-fache, der Gesamtradialschichtdicke (14) eines dazu in Radialrichtung (12) benachbart angeordneten elektrischen Leiters (8), bevorzugt 200 bis 500 μm , aufweist.

5. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die Isolationsschicht (9) eine erste, direkt auf dem elektrischen Leiter (8) angeformte Basisschicht (15) mit einer Basisschichtdicke (16) und eine zweite, direkt auf der ersten Basisschicht (15), vorzugsweise mittels eines Extrusionsprozess, angeformte Topschicht (17) mit einer Topschichtdicke (18) umfasst.

6. Stator (1) nach Anspruch 5 dadurch gekennzeichnet, dass die Topschichtdicke (18) zumindest in Umfangsrichtung (10) zumindest das 1.5-fache bis 3-fache, bevorzugt 1.8-fache bis 2.2-fache, der darunterliegenden Basisschichtdicke (16) aufweist, welche Basisschichtdicke (16) bevorzugt im Bereich von 10 bis 200 μm liegt.

7. Stator (1) einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass zur Ausbildung zumindest eines Parallelleiters (20) zumindest ein elektrischer Leiter (8) zwei, zur Beaufschlagung mit gleicher elektrischer Potentialdifferenz vorgesehene Teilleiter (21) umfasst, wobei die beiden korrespondierenden Teilleiter (21) jeweils mittels der Basisschicht (15) ummantelt sind und gemeinsam von der Topschicht (17) ummantelt sind.
8. Stator (1) nach Anspruch 7 dadurch gekennzeichnet, dass die Basisschichtdicke (16) in Radialrichtung (12) zwischen den korrespondierenden Teilleitern (21) 10 bis etwa 100 μm , bevorzugt 10 bis etwa 50 μm , beträgt.
9. Stator (1) nach Anspruch 8 dadurch gekennzeichnet, dass die Basisschichtdicke (16) in Radialrichtung (12) an der in jeweils vom korrespondierenden Teilleiter (21) abgewandten Seite in Radialrichtung (12) und/oder Umfangsrichtung (10) eine Basisschichtdicke (16) von zumindest dem 5-fachen bis 15-fachen, bevorzugt 10-fachen bis 12,5-fachen, besonders bevorzugt von 100 bis 300 μm , der Basisschichtdicke (16) zwischen den korrespondierenden Teilleitern (21) aufweist.
10. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Isolationsschicht (9) und/oder die Topschicht (17) und/oder die Stützsicht (19) in Radialrichtung (12) zumindest einseitig zumindest einen, bevorzugt U- oder I-förmigen, Fortsatz (22) zur Bildung zumindest eines in Längsrichtung (11) des Stators (1) erstreckten Kühlkanals (23) aufweist.
11. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Isolationsschicht (9) eine Haftfestigkeit von mehr als 35 g/mm, bevorzugt mehr als 45 g/mm, nach VDI 2019:2016-04 am elektrischen Leiter (8) aufweist.

12. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die zumindest eine Isolationsschicht (9) und/oder die Basis- schicht (15) und/oder die Topschicht (17) und/oder die Stützschi- ch- chicht (19) aus ei- nem thermoplastischen, bevorzugt im Wesentlichen lösungsmittelfreien, Hochleis- tungspolymer, bevorzugt aus der Gruppe Polyacryletherketon (PAEK), Polypheny- lensulfon (PPSU), Polyetheretherketon (PEEK), ausgebildet ist.

13. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch ge- kennzeichnet, dass die zumindest eine Isolationsschicht (9) und/oder die etwaige Basisschicht (15) und/oder die etwaige Topschicht (17) ein thermoplastisches Po- lymer, insbesondere Hochleistungspolymer, mit einem kristallinen Anteil von zu- mindest 10 %, bevorzugt 20 %, bis etwa 50 % aufweist.

Fig.2b

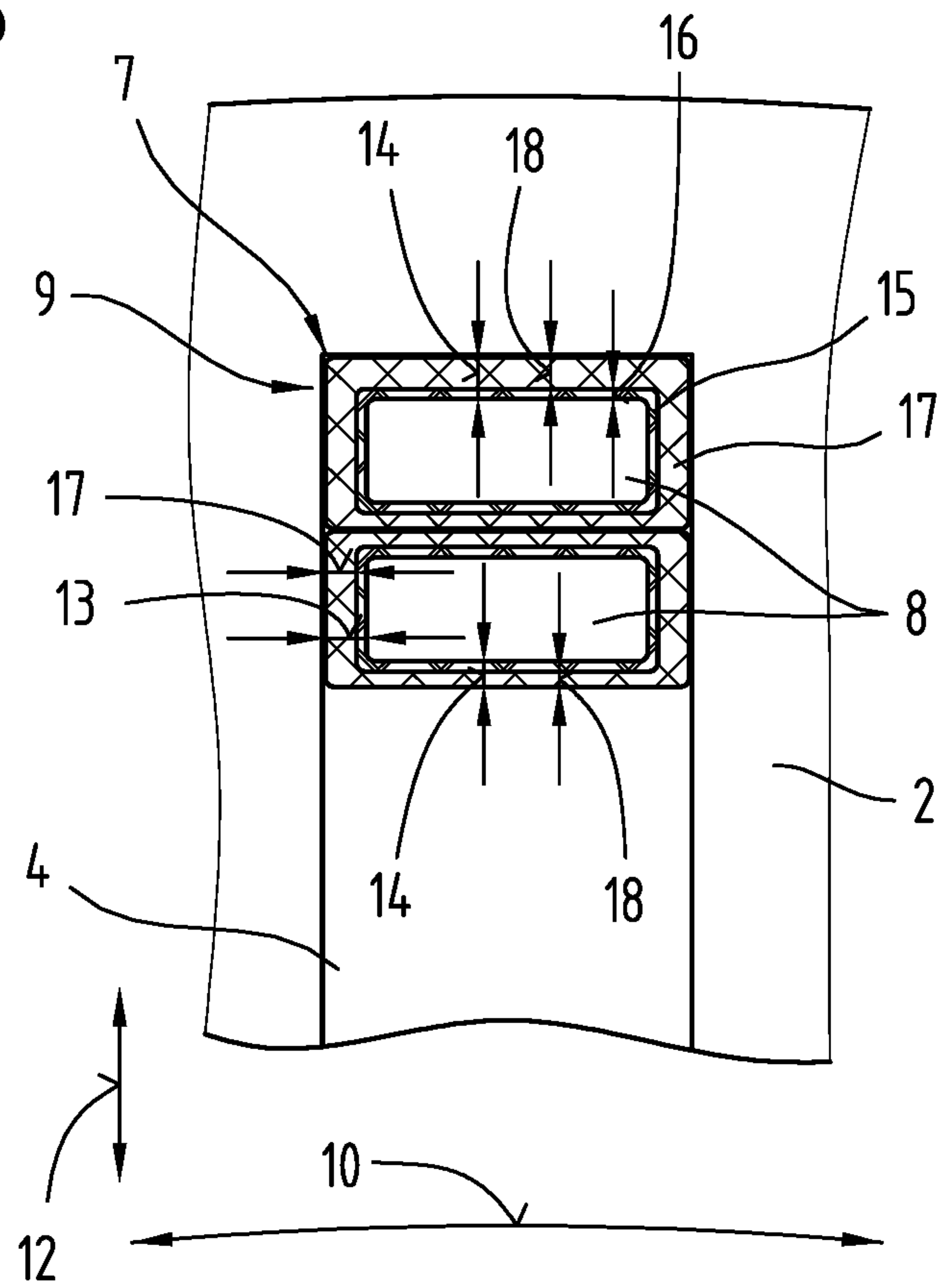


Fig.2c

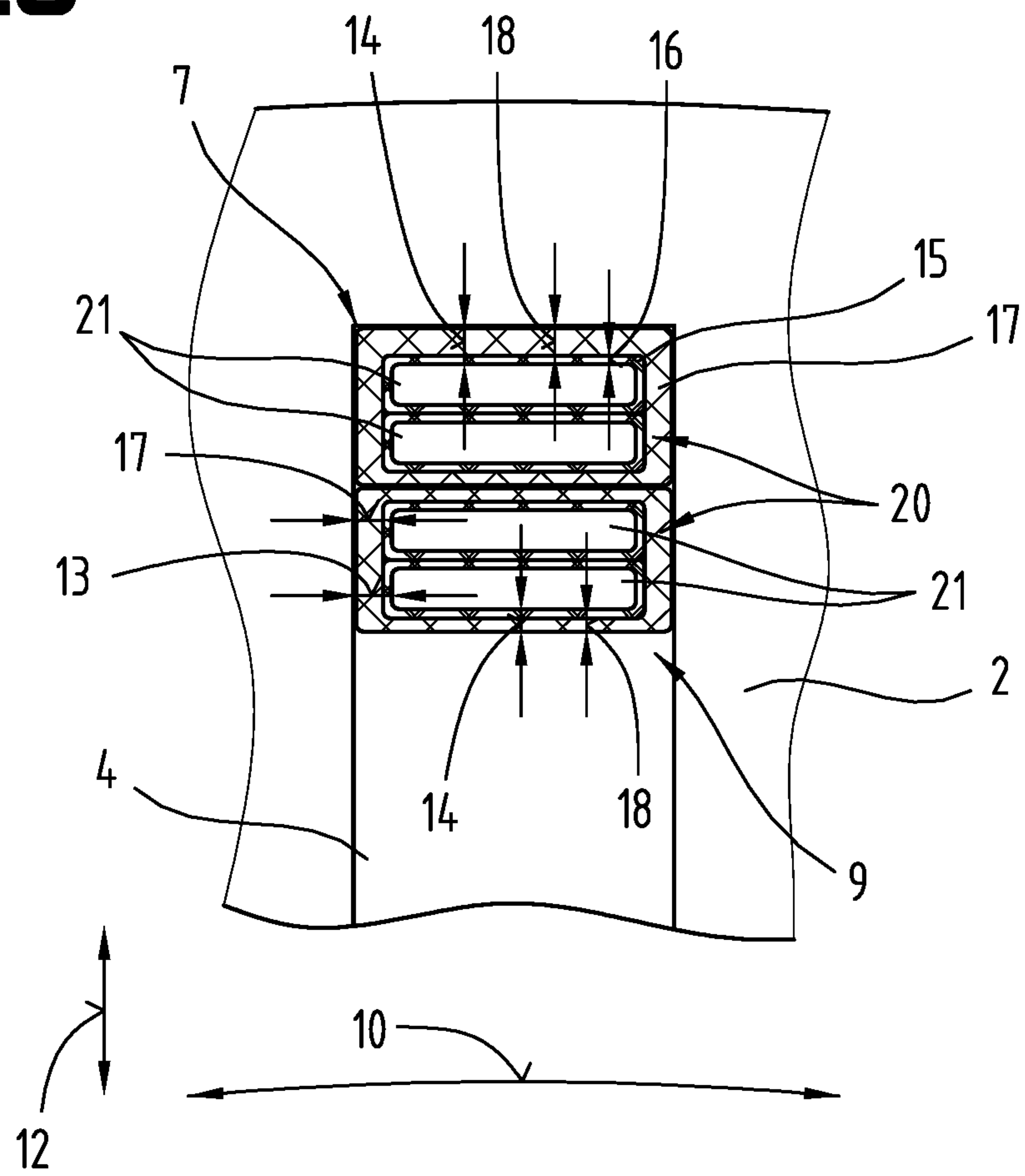


Fig.3

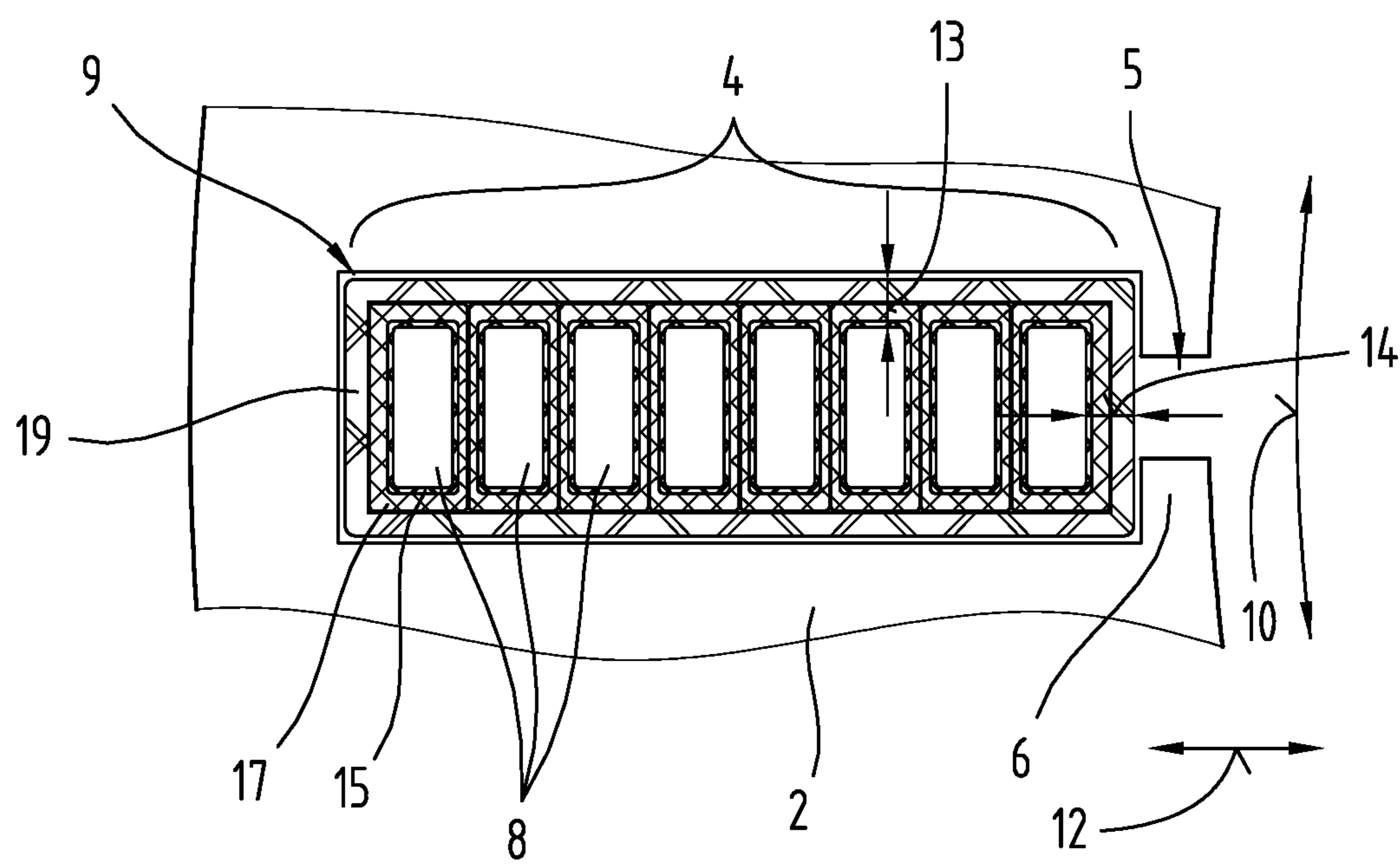


Fig.4a

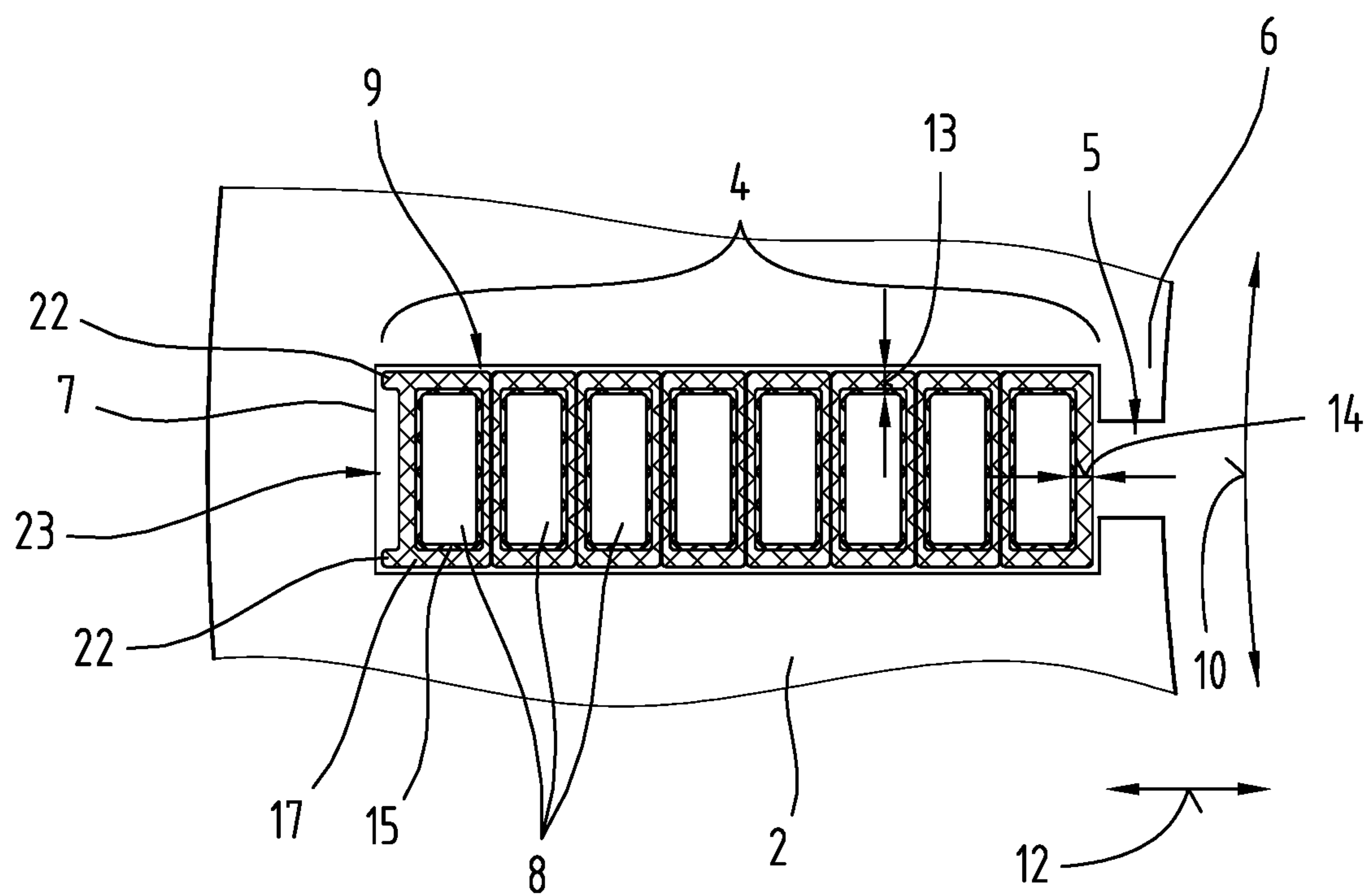


Fig.4b

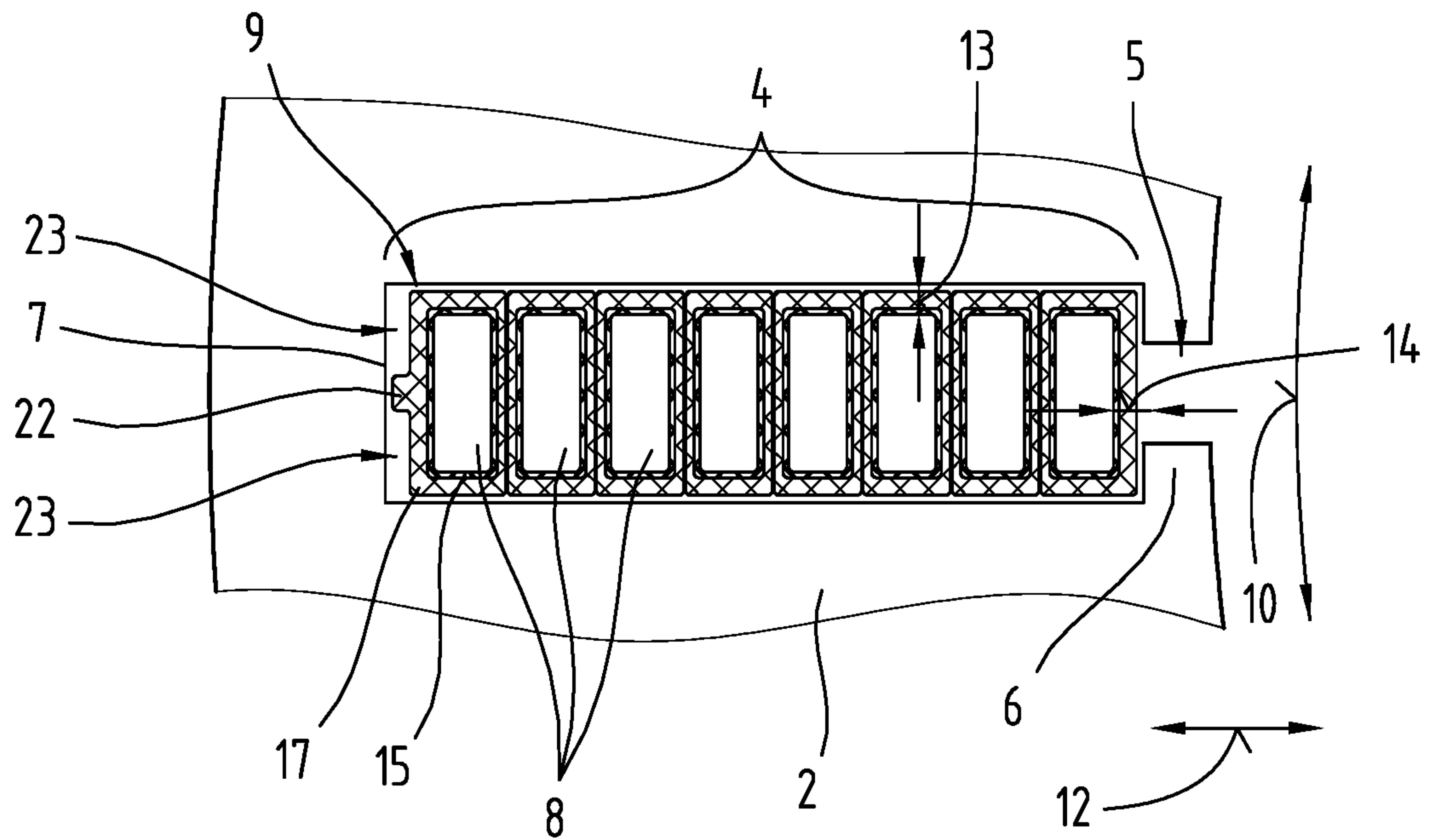


Fig.4c

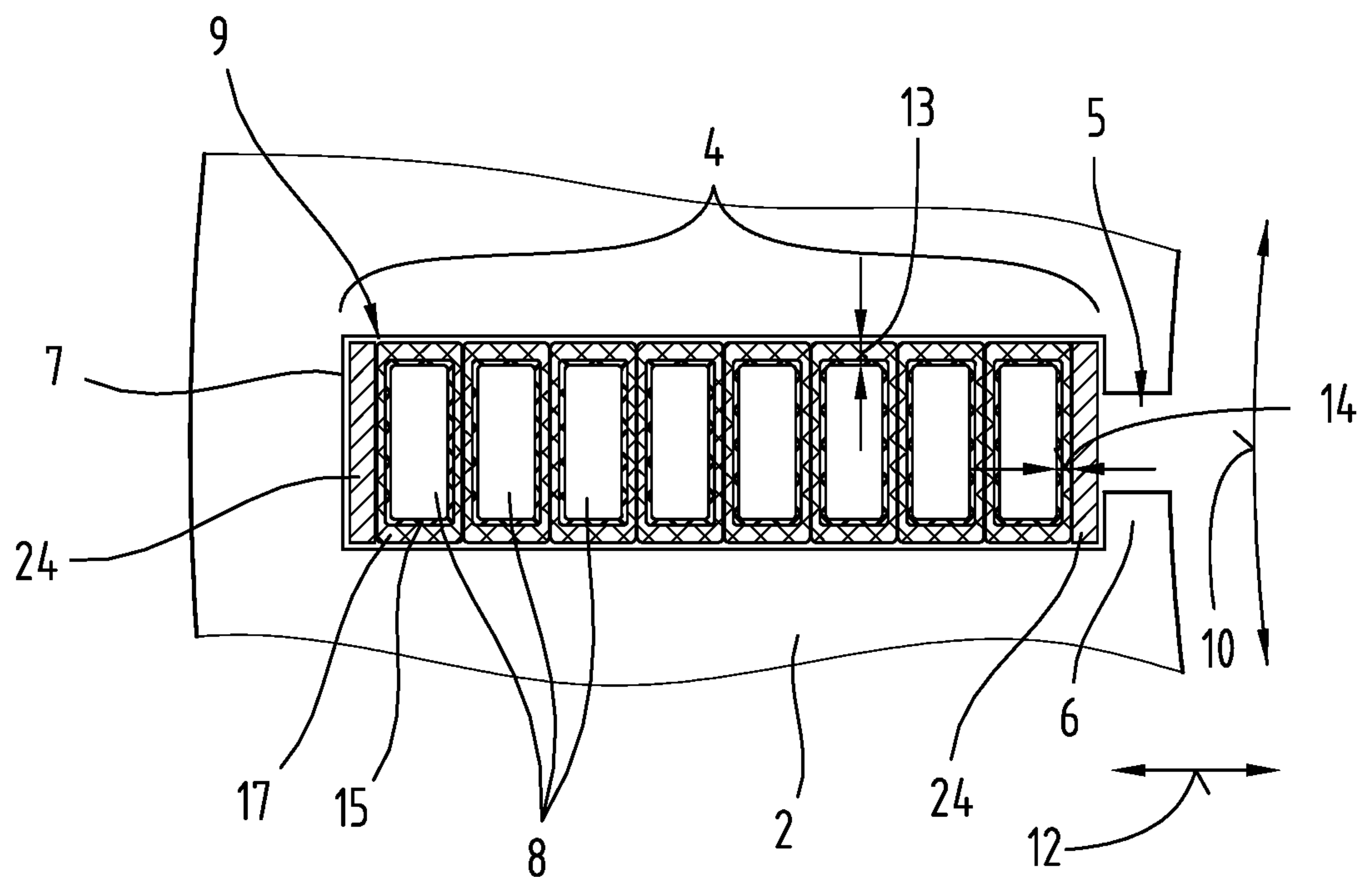
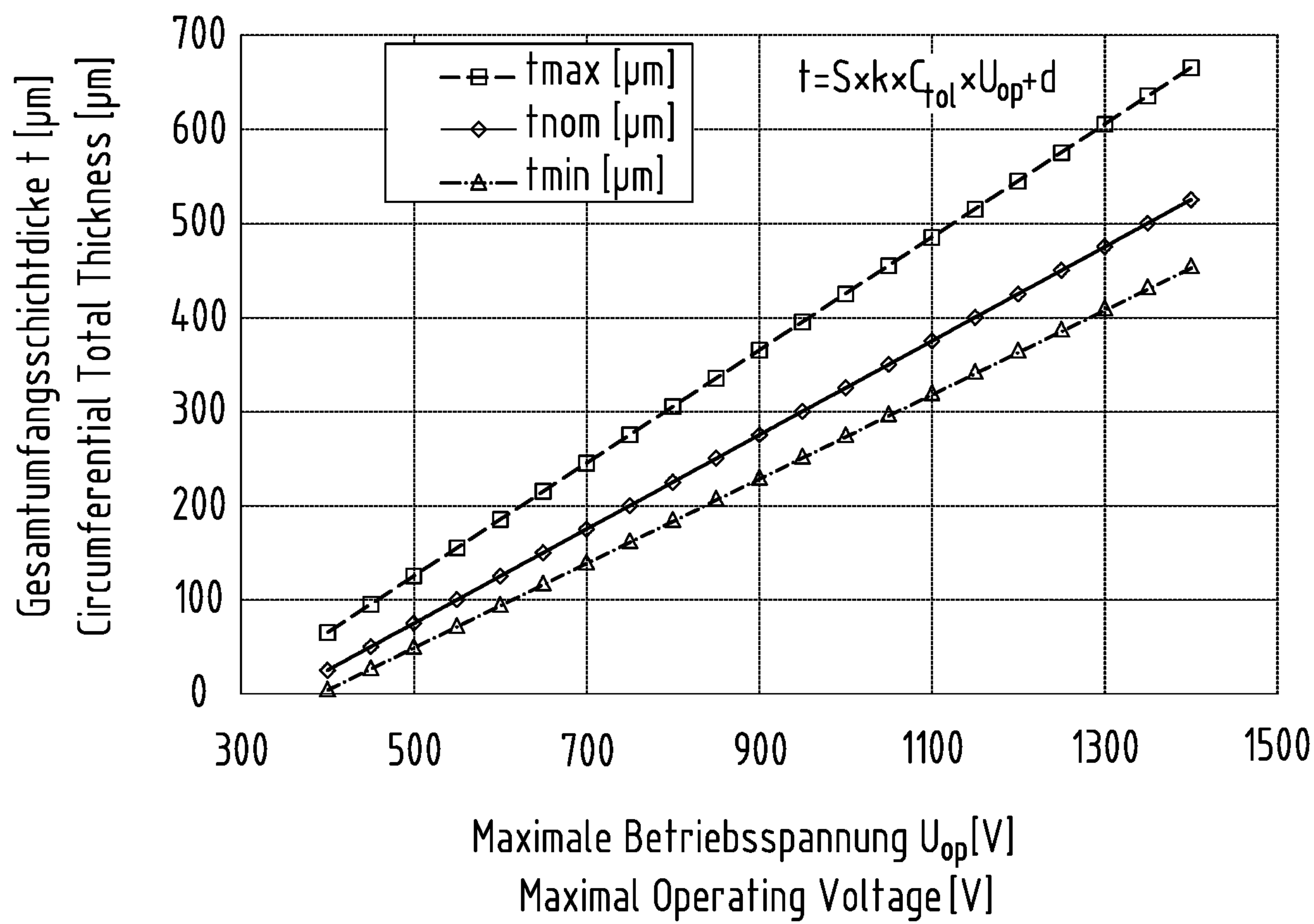


Fig.5



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

H02K 3/34 (2006.01); **H02K 3/30** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

H02K 3/34 (2013.01); **H02K 3/345** (2013.01); **H02K 3/30** (2021.01); **H02K 2213/03** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

H02K

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPIAP, PATENW, PATDEW

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **14.07.2020** eingereichten Ansprüchen **1-13** erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	DE 112013004722 T5 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 11. Juni 2015 (11.06.2015) Zusammenfassung; Fig. 2-5; Abs. 21, 36, 39-42	1-4, 11-13
X	JP 2017163666 A (HONDA MOTOR CO LTD) 14. September 2017 (14.09.2017) Zusammenfassung; Fig. 4, 6, 7, 9a; Abs. 6, 29, 32, 33, 40-43, 46, 51, 52	1, 2, 5, 10-13
Y		3, 6, 7-9
Y	EP 3267563 A1 (MEIDENSHA ELECTRIC MFG CO LTD) 10. Januar 2018 (10.01.2018) Zusammenfassung; Fig. 1, 4; Abs. 5, 26, 35-38, 42	3
A		7-9
Y	EP 3226258 A1 (GEBAUER & GRILLER METALLWERK GMBH) 04. Oktober 2017 (04.10.2017) Zusammenfassung; Fig. 2b; Abs. 17, 23, 46	6
A		5, 8
Y	EP 3043355 A1 (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD et al.) 13. Juli 2016 (13.07.2016) Zusammenfassung; Fig. 1; Abs. 15, 51	7-9
A		3
X	US 2017004900 A1 (ISHII YOHEI et al.) 05. Januar 2017 (05.01.2017) Zusammenfassung; Fig. 7-11; Abs. 30, 32, 65, 120-128, 133, 134	1, 2, 5, 11-13
A	EP 2824801 A1 (SIEMENS AG) 14. Januar 2015 (14.01.2015) Zusammenfassung; Fig. 2; Abs. 16, 27-29	1, 3

Datum der Beendigung der Recherche:

16.04.2021

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

KARLICEK Gerhard

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:**X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.**Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.**A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.**P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.**E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).**&** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.