

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
13. Juni 2019 (13.06.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2019/110273 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
H02K 3/24 (2006.01) H02K 9/197 (2006.01)  
H02K 5/08 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/081559

(22) Internationales Anmeldedatum:  
16. November 2018 (16.11.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2017 221 799.5  
04. Dezember 2017 (04.12.2017) DE

(71) Anmelder: MAHLE INTERNATIONAL GMBH  
[DE/DE]; Pragstraße 26-46, 70376 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: CUNNINGHAM, John; 2 Cookson Close, Muxton Telford Shropshire TF2 8SZ (GB). GRABHERR, Philip; Hohenloher Str. 66, 70435 Stuttgart (DE). WEBB, Ian; 1 Butts Road, Telford Shropshire TF5 0NU (GB). MALE, Tim; 61 Dunshealth, Telford Shropshire TF3 2BX (GB). MARKIC, Stojan; Podsabotin 8, 5211 Kojško (SI). SENTANCE, Graham; School House, Stanford Bridge Yorkshire WR6 6SU (GB). SEVER, Peter; Krog Murska Ulica 19, 9000 Murska Sobota (SI). SONNTAG, Josef; Schellingstr. 21, 72622 Nürtingen (DE). WITCOMBE, Jon; 34 Glade Way, Telford Shropshire TF5 0LD (GB).

(74) Anwalt: BRP RENAUD UND PARTNER MBB; Königstraße 28, 70173 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,

(54) Title: ELECTRICAL MACHINE, IN PARTICULAR FOR A VEHICLE

(54) Bezeichnung: ELEKTRISCHE MASCHINE, INSBESONDERE FÜR EIN FAHRZEUG

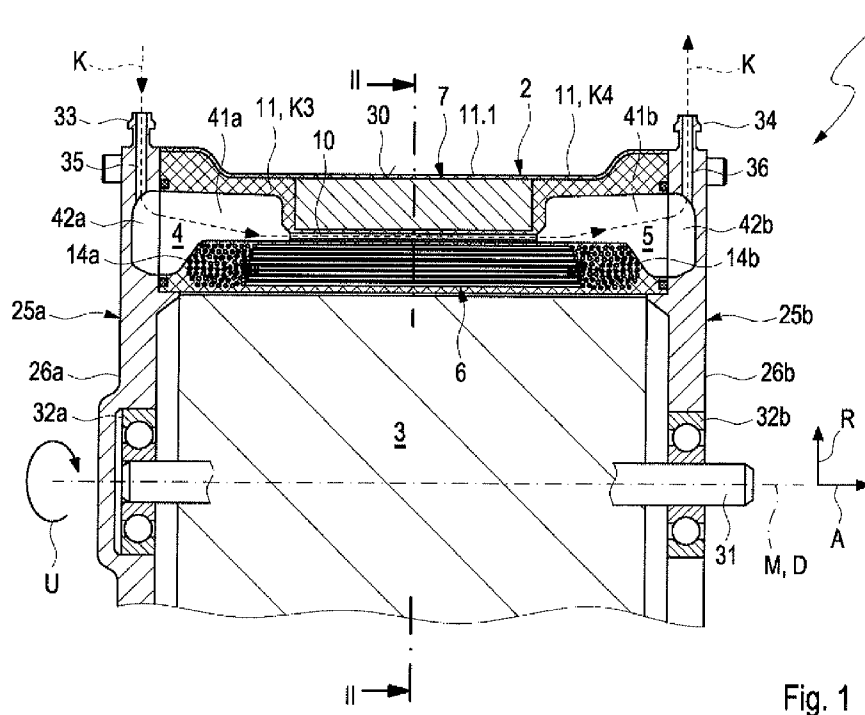


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an electric machine (1), in particular for a vehicle, • - having a rotor (3) which can rotate about a rotational axis (D) and by which an axial direction (A) of the electric machine (1) is defined, and having a stator (2) which has stator windings (6), • - having a coolant distributor space (4) and having a coolant collector space (5), wherein the coolant distributor space (4) communicates fluidically with the coolant collector space (5) in order to cool the stator windings (6) by means of a cooling duct (10), • - wherein the stator (2) possesses stator teeth (8) which support the stator windings (6) and which protrude radially inward from a stator body (7) of the stator (2), • - wherein a stator groove (9) is formed between two



WO 2019/110273 A1

BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

stator teeth (8), which stator groove (9) has a radially outer groove zone (52a, 52b) which extends radially inward away from the stator body (7) into a radially inner groove zone (52b), the radially inner zone width ( $b_i$ ) of which when measured along the circumferential direction (U) is smaller than the radially outer zone width ( $b_a$ ), when measured along the circumferential direction (U), of the radially outer groove zone (52a), • - wherein at least one stator winding (6) is embedded, for the purpose of thermal coupling, into an electrically insulating plastic (11) which is arranged in the stator groove (9), • - wherein the at least one cooling duct (10) extends at least partially in the stator groove (9), is bounded there by the electrically insulating plastic (11), and is arranged within the stator groove (9) in a cross section perpendicular to the axial direction (A) at a junction (52c) between the radially outer and the radially inner groove zones (52a, 52b).

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine (1), insbesondere für ein Fahrzeug, • - mit einem Rotor (3), der um eine Rotationsachse (D) drehbar ist, durch welche eine axiale Richtung (A) der elektrischen Maschine (1) definiert ist, und mit einem Stator (2), der Statorwicklungen (6) aufweist, • - mit einem Kühlmittelverteilterraum (4) und mit einem Kühlmittelsammlerraum (5), wobei der Kühlmittelverteilterraum (4) zum Kühlen der Statorwicklungen (6) mittels eines Kühlkanals (10) fluidisch mit dem Kühlmittelsammlerraum (5) kommuniziert, • - wobei der Stator (2) Statorzähne (8) besitzt, welche die Statorwicklungen (6) tragen und welche von einem Statorkörper (7) des Stators (2) radial nach innen abstehen, • - wobei zwischen zwei Statorzähnen (8) eine Statornut (9) gebildet ist, welche eine radial äußere Nut-Zone (52a, 52b) aufweist, die radial nach innen, vom Statorkörper (7) weg in eine radial innere Nut-Zone (52b) übergeht, deren entlang der Umfangsrichtung (U) gemessene radial innere Zonenbreite ( $b_i$ ) kleiner ist als die entlang der Umfangsrichtung (U) gemessene radial äußere Zonenbreite ( $b_a$ ) der radial äußeren Nut-Zone (52a), • - wobei zumindest eine Statorwicklung (6) zur thermischen Kopplung in einen elektrisch isolierenden Kunststoff (11) eingebettet ist, der in der Statornut (9) angeordnet ist, • - wobei der wenigstens eine Kühlkanal (10) sich zumindest abschnittsweise in der Statornut (9) erstreckt, dort von dem elektrisch isolierenden Kunststoff (11) begrenzt ist und innerhalb der Statornut (9) in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung (A) an einem Übergang (52c) von der radial äußeren zur radial inneren Nut-Zone (52a, 52b) angeordnet ist.

## Elektrische Maschine, insbesondere für ein Fahrzeug

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine, insbesondere für ein Fahrzeug, sowie ein Fahrzeug mit einer solchen Maschine.

Bei einer derartigen elektrischen Maschine kann es sich allgemein um einen Elektromotor oder um einen Generator handeln. Die elektrische Maschine kann als Außenläufer oder als Innenläufer ausgebildet sein.

Eine gattungsgemäße Maschine ist beispielsweise aus der US 5,214,325 bekannt. Sie umfasst ein Gehäuse, das einen Innenraum umgibt und das einen in einer Umfangsrichtung des Gehäuses umlaufenden, den Innenraum radial begrenzenden Mantel, axial einerseits eine den Innenraum axial begrenzende Rückseitenwand und axial andererseits eine den Innenraum axial begrenzende Vorderseitenwand aufweist. Fest mit dem Mantel ist ein Stator der Maschine verbunden. Im Stator ist ein Rotor der Maschine angeordnet, wobei eine Rotorwelle des Rotors über ein vorderes Wellenlager an der Vorderseitenwand drehbar gelagert ist.

Typischerweise umfasst der Stator einer herkömmlichen elektrischen Maschine Statorwicklungen, die im Betrieb der Maschine elektrisch bestromt werden. Dabei entsteht Wärme, die zur Vermeidung einer Überhitzung und einer damit verbundenen Beschädigung oder gar Zerstörung des Stators abgeführt werden muss. Hierzu ist es aus herkömmlichen elektrischen Maschinen bekannt, diese mit einer Kühleinrichtung zum Kühlen des Stators – insbesondere besagter Statorwicklungen – auszustatten. Eine solche Kühleinrichtung umfasst einen oder mehrere Kühlkanäle, die von einem Kühlmittel durchströmt werden und in der Nähe der

Statorwicklungen im Stator angeordnet sind. Durch Wärmeübertragung von den Statorwicklungen auf das Kühlmittel kann Wärme vom Stator abgeführt werden.

Als nachteilig erweist sich dabei, dass ein effizienter Wärmeübergang vom Stator auf das durch den jeweiligen Kühlkanal strömende Kühlmittel mit erheblichem konstruktiven Aufwand verbunden ist. Dies wirkt sich jedoch nachteilig auf die Herstellungskosten der elektrischen Maschine aus.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Ausführungsform für eine elektrische Maschine zu schaffen, bei welcher dieser Nachteil weitgehend oder gar vollständig beseitigt ist. Insbesondere soll eine verbesserte Ausführungsform für eine elektrische Maschine geschaffen werden, welche sich durch eine verbesserte Kühlung der Statorwicklungen des Stators bei gleichzeitig geringen Herstellungskosten auszeichnet.

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

Grundidee der Erfindung ist demnach, die Statorwicklungen einer elektrischen Maschine zum Kühlen der Statorwicklungen in einen elektrisch isolierenden Kunststoff einzubetten, der gleichzeitig auch einen Kühlkanal zum durch strömen mit einem Kühlmittel begrenzt. Somit kann der Kunststoff als wärmeübertragendes Medium zur Übertragung von Wärme von den Statorwicklungen auf das durch einen Kühlkanal strömende Kühlmittel einerseits und als elektrischer Isolator für die Statorwicklungen andererseits wirken. Auf diese Weise wird ein besonders guter Wärmeübergang zwischen den Statorwicklungen und dem durch den Kühlkanal geführten Kühlmittel hergestellt.

Die direkte thermische Ankopplung des Kühlkanals mit dem Kühlmittel an die zu kühlenden Statorwicklungen mithilfe der erfindungswesentlichen Einbettung der Statorwicklung(en) in einen elektrisch isolierenden Kunststoff führt zu einer besonders effektiven Kühlung der Statorwicklungen. Somit kann auch in einem Hochlastbetrieb der elektrischen Maschine sichergestellt werden, dass die anfallende Abwärme vom Stator abgeführt werden kann. Eine Beschädigung oder gar Zerstörung der elektrischen Maschine durch Überhitzung des Stators kann somit vermieden werden. Durch Verwendung eines elektrisch isolierenden Kunststoffs wird außerdem gewährleistet, dass die zu kühlenden Statorwicklungen durch den Kunststoff nicht auf unerwünschte Weise elektrisch kurzgeschlossen werden.

Erfindungsgemäß ist der Kühlkanal dabei zumindest abschnittsweise in einer Statornut zwischen zwei benachbarten Statorzähnen des Stators angeordnet. Die Statornut geht dabei von einer radial äußere Nut-Zone radial nach innen in eine radial innere Nut-Zone über, deren entlang der Umfangsrichtung gemessene radial innere Zonenbreite kleiner ist als die entlang der Umfangsrichtung gemessene radial äußere Zonenbreite der radial äußeren Nut-Zone. Der Kühlkanal ist in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung im Bereich eines Übergangs von der radial äußeren zur radial inneren Nut-Zone angeordnet und wird dort von dem elektrisch isolierenden Kunststoff begrenzt. Die Anordnung des Kühlkanals im Bereich besagten Übergangs erweist sich als besonders vorteilhaft, da unmittelbar in diesem Bereich typischerweise keine Statorwicklungen angeordnet sind. Somit kann dieser Bereich des Stators bauraumsparend zur Bereitstellung eines Kühlkanals genutzt werden kann. Da aber in der Nähe des Übergangs oftmals Wicklungsabschnitte der Statorwicklungen vorgesehen sind, die besonders viel Abwärme erzeugen, lässt sich durch eine Anordnung des Kühlkanals in diesem Bereich auch besonders viel Abwärme über das durch den Kühlkanal strömende Kühlmittel aus der elektrischen Maschine abführen. Im Ergebnis wird somit eine elektrische Maschine geschaffen, in welche ein wenig Bauraum benötigender und

dennoch effektiver Kühlungsmechanismus zum Abführen von Abwärme aus dem Stator implementiert ist.

Eine erfindungsgemäße elektrische Maschine, insbesondere für ein Fahrzeug umfasst einen Rotor, der um eine Rotationsachse drehbar ist, durch welche eine axiale Richtung der elektrischen Maschine definiert ist. Die Maschine umfasst ferner einem Stator, der Statorwicklungen aufweist. Die Maschine umfasst ferner einen Kühlmittelverteilterraum und einem axial im Abstand zu diesem angeordneten Kühlmittelsammlerraum. Dabei kommuniziert der Kühlmittelverteilterraum zum Kühlen der Statorwicklungen mittels wenigstens eines von einem Kühlmittel durchströmbaren Kühlkanals fluidisch mit dem Kühlmittelsammlerraum. Der Stator besitzt sich entlang der axialen Richtung erstreckende und entlang einer Umfangsrichtung beabstandet zueinander angeordnete Statorzähne, welche die Statorwicklungen tragen und welche von einem Statorkörper des Stators radial nach innen abstehen. Zwischen zwei in Umfangsrichtung benachbarten Statorzähnen ist jeweils eine Statornut gebildet, welche eine radial äußere Nut-Zone aufweist, die radial nach innen, also vom Statorkörper weg, in eine radial innere Nut-Zone übergeht. Der Übergang kann in der Art einer Stufe ausgebildet sein. Eine entlang der Umfangsrichtung gemessene radial innere Zonenbreite der radial inneren Nut-Zone ist dabei kleiner als eine entlang der Umfangsrichtung gemessene radial äußere Zonenbreite der radial äußeren Nut-Zone. Zumindest eine Statorwicklung ist zur thermischen Kopplung in einen elektrisch isolierenden Kunststoff eingebettet, der in einer der Statornuten angeordnet ist. Erfindungsgemäß erstreckt sich der wenigstens eine Kühlkanal zumindest abschnittsweise in der Statornut, dort von dem elektrisch isolierenden Kunststoff begrenzt ist und innerhalb der Statornut in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung an einem Übergang von der radial äußeren zur radial inneren Nut-Zone angeordnet ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist der Kühlkanal innerhalb der Statornut teilweise in der radial inneren Nut-Zone und teilweise in der radial äußeren Nut-Zone angeordnet sein. Somit werden auch radial weiter außen gelegene Wicklungsabschnitte der Statorwicklungen wirksam gekühlt.

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform weist der Kühlkanal in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung die Geometrie eines Kreissegments mit einem Kreisbogen und mit einer Kreissehne auf.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung die Kreissehne radial außen, vorzugsweise in der radial äußeren Nut-Zone, und der Kreisbogen radial innen, vorzugsweise in der radial inneren Nut-Zone, angeordnet ist. Auf diese Weise wird der am Übergang von der äußeren zur inneren Nut-Zone zur Verfügung stehende Bauraum optimal genutzt.

Besonders bevorzugt weist eine senkrecht zum Kreisbogen gemessene Segmenthöhe des Kreissegments einen Wert auf, der kleiner oder gleich dem Wert des Radius des Kreissegments ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist der Kühlkanal in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung die Geometrie eines Trapezes, vorzugsweise eines Rechtecks, mit zwei Breitseiten und zwei Schmalseiten auf. Diese Maßnahme erlaubt es, den Kühlkanal mit einem großen Strömungsquerschnitt zu realisieren. Insbesondere kann dem Kühlkanal die vorteilhafte Geometrie eines Flachrohrs verliehen werden, welche wiederum eine bauraumsparende Anordnung des Kühlkanals in unmittelbarer Nähe der zu kühlenden Statorwicklung(en) erlaubt.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung eine der Breitseiten radial innen, vorzugsweise in der radial inne-

ren Nut-Zone, und die andere Breitseite radial außen, vorzugsweise in der radial inneren Nut-Zone, angeordnet.

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform besitzt der Kühlkanal in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung die Geometrie eines Dreiecks mit drei Seiten. Bei dieser Ausführungsform ist eine Seite des Dreiecks radial außen, vorzugsweise in der radial äußeren Nut-Zone, und eine dieser Seite gegenüberliegende Ecke des Dreiecks radial innen, vorzugsweise in der radial inneren Nut-Zone, angeordnet. Auf diese Weise wird der am Übergang von der äußeren zur inneren Nut-Zone zur Verfügung stehende Bauraum optimal genutzt.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist das Dreieck als gleichschenkliges Dreieck ausgebildet, so dass die radial außen angeordnete Seite eine Basis und die radial innen angeordnete Ecke eine Spitze des Dreiecks ausbildet. Mit einer derartigen, symmetrischen Ausbildung des Kühlkanals geht eine gleichmäßige Kühlung der benachbarten Statorwicklungen einher.

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform weist der Kühlkanal in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung eine T-artige Geometrie auf. Hierfür besitzt der Kühlkanal einen sich entlang der radialen Richtung erstreckenden Radialabschnitt und einen sich quer, vorzugsweise orthogonal, zur radialen Richtung erstreckenden Querabschnitt.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist der Radialabschnitt radial innen, vorzugsweise in der radial inneren Nut-Zone, und der Querabschnitt radial außen, vorzugsweise in der radial äußeren Nut-Zone, angeordnet. Auf diese Weise wird der am Übergang von der äußeren zur inneren Nut-Zone zur Verfügung.

Bevorzugt ist der elektrisch isolierende Kunststoff zumindest durch eine erste Kunststoffmasse aus einem ersten Kunststoffmaterial und durch eine zweite



Kunststoffmasse aus einem zweiten Kunststoffmaterial gebildet. Die thermische Leitfähigkeit des ersten Kunststoffmaterials ist dabei größer als die thermische Leitfähigkeit des zweiten Kunststoffmaterials.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist in der Statornut zumindest eine Statorwicklung in die zweite Kunststoffmasse aus dem zweiten Kunststoffmaterial eingebettet. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die zweite Kunststoffmasse mit der darin eingebetteten Statorwicklung zumindest teilweise von der ersten Kunststoffmasse aus dem ersten Kunststoffmaterial umgeben. Für den Fall, dass - fertigungsbedingt – nicht alle Statorwicklungen vollständig in die zweite Kunststoffmasse eingebettet werden können, verhindert die erste Kunststoffmasse in jedem Fall einen etwaigen elektrischen Kurzschluss mit dem elektrisch leitenden Material des Statorkörpers.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist der elektrisch isolierende Kunststoff teilweise auch durch eine dritte Kunststoffmasse gebildet, welche den Kühlkanal vollständig begrenzt. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die Statorwicklungen nicht in den Kühlkanal hineinragen und dort mit dem durch den Kühlkanal strömenden Kühlmittel in Kontakt geraten können.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der Kühlkanal ausschließlich durch die dritte Kunststoffmasse begrenzt. Alternativ dazu kann der Kühlkanal zumindest teilweise durch die erste Kunststoffmasse und zumindest teilweise durch die dritte Kunststoffmasse begrenzt sein. Auch bei dieser Variante ist sichergestellt, dass die Statorwicklungen nicht in den Kühlkanal hineinragen und dort mit dem durch den Kühlkanal strömenden Kühlmittel in Kontakt geraten können.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist eine Kühlmittelbeständigkeit des dritten Kunststoffmaterials der dritten Kunststoffmasse größer als die Kühlmittelbe-

ständigkeit des ersten oder zweiten Kunststoffmaterials der ersten bzw. zweiten Kunststoffmasse. Diese Weiterbildung empfiehlt sich, wenn der Kühlkanal ausschließlich von der dritten Kunststoffmasse begrenzt ist, so dass eine Degradation der die Kanalbegrenzung ausbildenden dritten Kunststoffmasse durch das Kühlmittel auf ein Minimum reduziert werden kann.

Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung ist eine Kühlmittelbeständigkeit des dritten Kunststoffmaterials der dritten Kunststoffmasse und des ersten Kunststoffmaterials der ersten Kunststoffmasse jeweils größer als die Kühlmittelbeständigkeit des zweiten Kunststoffmaterials der zweiten Kunststoffmasse. Diese Weiterbildung empfiehlt sich, wenn der Kühlkanal von der ersten und der dritten Kunststoffmasse begrenzt ist, so dass eine Degradation der die Kanalbegrenzung ausbildenden ersten bzw. dritten Kunststoffmasse durch das Kühlmittel jeweils minimiert werden kann.

Bevorzugt ist der Kühlkanal in Umfangsrichtung zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, durch die erste Kunststoffmasse und radial innen sowie radial außen jeweils zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, durch die dritte Kunststoffmasse begrenzt. Diese Variante ist besonders einfach zu fertigen und somit kostengünstig.

Zweckmäßig sind in wenigstens einer Statornut, vorzugsweise in wenigstens zwei Statornuten, besonders bevorzugt in allen Statornuten, jeweils sowohl die erste als auch die zweite und dritte Kunststoffmasse angeordnet. Auf diese Weise wird eine stabile Fixierung der Statorwicklung an den Statorzähnen erreicht. Gleichzeitig wird sichergestellt, dass keine elektrisch leitenden Komponenten wie einzelne Statorwicklungen oder das Blechpaket des Statorkörpers mit dem durch den Kühlkanal strömenden Kühlmittel in Kontakt gelangt.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung umfasst das erste Kunststoffmaterial einen Duroplasten umfasst oder ist ein Duroplast. Alternativ oder zusätzlich umfasst auch das zweite Kunststoffmaterial einen Duroplasten oder ist ein Duroplast. Alternativ oder zusätzlich umfasst das dritte Kunststoffmaterial einen Thermoplasten oder Duroplasten oder ist ein Thermoplast oder Duroplast. Mit der Verwendung eines Duroplasten gehen reduzierte Herstellungskosten einher. Bei einer weiteren Variante kann das erste Kunststoffmaterial der ersten Kunststoffmasse und/oder das zweite Kunststoffmaterial der zweiten Kunststoffmasse und/oder das dritte Kunststoffmaterial der dritten Kunststoffmasse einen Thermoplast umfassen oder jeweils ein Thermoplast sein. Ein Einsatz von Thermoplasten weist diverse Vorteile gegenüber dem Einsatz von Duroplasten auf. Beispielsweise sind Thermoplaste infolge des bei ihrer Verarbeitung angewandten reversiblen Formgebungsprozesses besser recyclebar bzw. weisen im Vergleich zu Duroplasten eine geringere Sprödigkeit und verbesserte Dämpfungseigenschaften auf.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung kann auf einer Außenumfangsseite des Statorkörpers eine vierte Kunststoffmasse aus einem vierten Kunststoffmaterial, die Teil des elektrisch isolierenden Kunststoffs ist, angeordnet sein und auf der Außenumfangsseite eine Kunststoffbeschichtung ausbilden. Das vierten Kunststoffmaterial kann bevorzugt ein Duroplast oder ein Thermoplast sein. Auf diese Weise kann der typischerweise aus elektrisch leitenden Statorplatten gebildete Statorkörper des Stators elektrisch gegen die Umgebung isoliert werden. Insbesondere kann somit auf die Bereitstellung eines separaten Gehäuses verzichtet werden.

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist wenigstens ein zusätzlicher Kühlkanal durch wenigstens einen Durchbruch gebildet, der in einer der Nutenöffnung gegenüberliegenden, radial äußeren Endabschnitt der Statornut angeordnet ist. Diese Variante ist technisch besonders einfach zu realisieren und daher besonders kostengünstig.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung umgibt oder umhüllt die erste Kunststoffmasse in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung zumindest einen Durchbruch, vorzugsweise alle Durchbrüche, zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig. Auf diese Weise kann der den Kühlkanal bildende Durchbruch besonders gut thermisch an die Statorwicklungen angekoppelt werden.

Gemäß einer anderen vorteilhaften weiteren Weiterbildung ist wenigstens ein zusätzlicher Kühlkanal vorhanden und durch wenigstens einen Durchbruch gebildet, der radial außerhalb der Statornut im Statorkörper angeordnet ist. Besagter Durchbruch kann in Form einer Durchgangsbohrung realisiert sein, die mittels einer geeigneten Bohrwerkzeugs im Zuge der Herstellung der elektrischen Maschine in den Statorkörper eingebracht wird. Die Bereitstellung eines separaten Rohrkörpers o.ä. zur Begrenzung des Kühlkanals entfällt bei dieser Variante. Damit gehen reduzierte Herstellungskosten einher. Besonders bevorzugt sind mehrere solche Durchbrüche vorgesehen.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der den Kühlkanal bildende Durchbruch zur Statornut hin offen ausgebildet. Dabei ist besagter Durchbruch von der in der Statornut angeordneten, elektrisch isolierenden Kunststoff, vorzugsweise von der ersten Kunststoffmasse, fluiddicht verschlossen. Bei dieser Variante sind die Durchbrüche besonders einfach zu erzeugen, womit Kostenvorteile bei der Herstellung einhergehen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind der Kühlmittelverteiler- und/oder der Kühlmittelsammlerraum durch einen zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, in der dritten und/oder vierten Kunststoffmasse vorhandenen Hohlraum gebildet. Die Bereitstellung einer separaten Umhüllung bzw. eines Gehäuses zur Begrenzung des Kühlmittelverteiler- bzw. Kühlmittelsammlerraums

kann somit entfallen. Auch mit dieser Ausführungsform gehen nicht unerhebliche Kostenvorteile einher.

Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform sind die erste und/oder die zweite und/oder die dritte Kunststoffmasse jeweils eine Spritzgussmasse aus dem ersten oder zweiten oder dritten Kunststoffmaterial. Die Anwendung eines Spritzgussverfahrens vereinfacht und beschleunigt die Erzeugung der Kunststoffmassen. Dies führt zu Kostenvorteilen bei der Herstellung der elektrischen Maschine.

Zweckmäßig kann zumindest die dritte Kunststoffmasse axial aus dem Statornut herausragen. Somit kann die dritte Kunststoffmasse auch zum teilweisen Begrenzen des Kühlmittelverteilterraums bzw. des Kühlmittelsammlerraums verwendet werden. Insbesondere kann ein im Zuge der Herstellung der Maschine erforderliches Entfernen des aus dem Stator herausragenden Teils der zweiten Kunststoffmasse entfallen, womit Kostenvorteile bei der Herstellung der Maschine einhergehen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung schlägt vor, dass die dritte und/oder vierte Kunststoffmasse den Kühlmittelverteilterraum und/oder den Kühlmittelsammlerraum zumindest teilweise begrenzt. Die Bereitstellung einer separaten Begrenzung für den Kühlmittelverteilterraum bzw. den Kühlmittelsammlerraum, etwa in Form eines Gehäuses, kann bei dieser Variante entfallen.

Zweckmäßig können in zumindest einer Statornut, vorzugsweise in jeder vorhandenen Statornut, zwischen zwei jeweils in Umfangsrichtung benachbarten Statorzähnen jeweils zumindest ein Kühlkanal sowie die erste und zweite Kunststoffmasse vorgesehen sein. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass aus allen vorhandenen Statorwicklungen betriebsmäßig erzeugte Abwärme abgeführt werden kann.

Zweckmäßig ist die Wärmeleitfähigkeit der zweiten Kunststoffmasse jeweils größer als die Wärmeleitfähigkeit der ersten bzw. dritten Kunststoffmasse. Auf diese Weise kann die von den Statorwicklungen erzeugte Abwärme besonders effektiv abgeführt werden.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die wenigstens eine Statorwicklung zwei axiale Endabschnitte auf, auf welchen eine zusätzliche elektrisch isolierende Isolation angeordnet ist. Zwar werden die elektrisch leitenden Statorwicklungen üblicherweise bereits mit einer elektrischen Isolation umgeben, um zu verhindern, dass bei Kontakt einzelner Wicklungsabschnitte miteinander elektrische Kurzschlüsse erzeugt werden. Jedoch kann nicht sichergestellt werden, dass nach Fertigung und Montage der Statorwicklungen alle diese Statorwicklungen durchgehend mit einer solchen Isolation ausgestattet sind. Bei dieser Ausführungsform wird daher mittels einer redundanten, zusätzlichen elektrisch isolierenden Isolation sichergestellt, dass die axialen Endabschnitte weder den Kühlmittelverteilterraum noch den Kühlmittelsammlerraum unmittelbar begrenzen. Auf diese Weise kann ein unerwünschter elektrischer Kurzschluss des im Kühlmittelverteilterraum bzw. im Kühlmittelsammlerraum vorhandenen Kühlmittels mit den elektrisch leitenden Statorwicklungen verhindert werden.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung ist die elektrisch isolierende Isolation zumindest teilweise, bevorzugt vollständig, durch einen Isolationslack gebildet. Ein solcher Isolationslack kann im Zuge der Herstellung des Stators durch Besprühen auf die Statorwicklungen aufgebracht werden. Alternativ dazu ist es aber auch denkbar, die zusätzliche Isolation durch den elektrisch isolierenden Kunststoff, vorzugsweise durch die dritte und/oder die vierte Kunststoffmasse, zu bilden. Diese Variante ist besonders einfach herzustellen und somit kostengünstig.

Die Erfindung betrifft ferner ein Fahrzeug, insbesondere ein Kraftfahrzeug mit einer vorangehend vorgestellten elektrischen Maschine. Die oben erläuterten Vorteile der elektrischen Maschine übertragen sich daher auch auf das erfindungsgemäße Fahrzeug.

Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen, jeweils schematisch:

- Fig. 1 ein Beispiel einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine in einem Längsschnitt entlang der Rotationsachse des Rotor,
- Fig. 2 den Stator der elektrischen Maschine gemäß Figur 1 in einem Querschnitt senkrecht zur Rotationsachse des Rotors,
- Fig. 3 eine Detaildarstellung des Stators der Figur 2 im Bereich eines Statornut zwischen zwei in Umfangsrichtung benachbarten Statorzähnen,

- Fig. 4-6 Varianten des Beispiels gemäß Figur 3, die sich die Geometrie des Kühlkanals vom Beispiel der Figur 3 unterscheiden.
- Fig. 7, 8 weitere Varianten des Beispiels gemäß Figur 3, die sich betreffend die Ausgestaltung des zusätzlichen Kühlkanals vom Beispiel der Figur 3 unterscheiden.
- Fig. 9 eine erste Variante der elektrischen Maschine der Figur 1, bei welcher das durch die Kühlkanäle strömende Kühlmittel auch zur Kühlung der Wellenlager des Rotors verwendet wird,
- Fig. 10 eine zweite Variante der elektrischen Maschine gemäß Figur 1, welche besonders wenig Bauraum beansprucht,
- Fig. 11 eine dritte Variante der Maschine gemäß Figur 1, welche eine besonders effektive Kühlung der Statorwicklungen ermöglicht.

Figur 1 illustriert ein Beispiel einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine 1 in einer Schnittdarstellung. Die elektrische Maschine 1 ist so dimensioniert, dass sie in einem Fahrzeug, vorzugsweise in einem Straßenfahrzeug, eingesetzt werden kann. Die elektrische Maschine 1 umfasst einen in der Figur 1 nur grobschematisch dargestellten Rotor 3 und einen Stator 2. Zur Verdeutlichung ist der Stator 2 in Figur 2 in einem Querschnitt senkrecht zur Rotationsachse D entlang der Schnittlinie II – II der Figur 1 in separater Darstellung dargestellt. Entsprechend Figur 1 besitzt der Rotor 3 eine Rotorwelle 31 und kann mehrere, in der Figur 1 nicht näher dargestellte Magnete aufweisen, deren magnetischer Polarisierung entlang der Umfangsrichtung U abwechselt. Der Rotor 3 ist um eine Rotationsachse D drehbar, deren Lage durch die Mittellängsachse M der Rotorwelle 31 festgelegt ist. Durch die Rotationsachse D wird eine axiale Richtung A definiert, welche sich



parallel zur Rotationsachse D erstreckt. Eine radiale Richtung R steht senkrecht zur axialen Richtung A. Eine Umfangsrichtung U rotiert um die Rotationsachse D.

Wie Figur 1 erkennen lässt, ist der Rotor 3 im Stator 2 angeordnet. Somit handelt es sich bei der hier gezeigten elektrischen Maschine 1 um einen sogenannten Innenläufer. Denkbar ist aber auch eine Realisierung als sogenannter Außenläufer, bei welcher der Rotor 3 außerhalb des Stators 2 angeordnet ist. Die Rotorwelle 31 ist in einem ersten Wellenlager 32a und, dazu axial beabstandet, in einem zweiten Wellenlager 32b um die Rotationsachse D drehbar am Stator 2 gelagert.

Der Stator 2 umfasst außerdem in bekannter Weise mehrere, zum Erzeugen eines magnetischen Feld elektrisch bestrombare Statorwicklungen 6. Durch magnetische Wechselwirkung des von den Magneten des Rotor 3 erzeugten magnetischen Feldes mit dem von den Statorwicklungen 6 erzeugten magnetischen Feld wird der Rotor 3 in Rotation versetzt.

Dem Querschnitt der Figur 2 entnimmt man, dass der Stator 2 einen ringförmigen Statorkörper 7, beispielsweise aus Eisen, aufweisen kann. Insbesondere kann der Statorkörper 7 aus mehreren, entlang der axialen Richtung A aufeinandergestapelten und miteinander verklebten Statorkörperplatten (nicht gezeigt) gebildet sein. An dem Statorkörper 7 sind radial innen mehrere Statorzähne 8 angeformt, die sich entlang der axialen Richtung A erstrecken, radial nach innen vom Statorkörper 7 weg abstehen und entlang der Umfangsrichtung U beabstandet zueinander angeordnet sind. Jeder Statorzahn 8 trägt eine Statorwicklung 6. Die einzelnen Statorwicklungen 6 bilden zusammen eine Wicklungsanordnung. Je nach Anzahl der von den Statorwicklungen 6 zu bildenden magnetischen Pole können die einzelnen Statorwicklungen 6 der gesamten Wicklungsanordnung in geeigneter Weise elektrisch miteinander verdrahtet sein.

Im Betrieb der Maschine 1 erzeugen die elektrisch bestromten Statorwicklungen 6 Abwärme, die aus der Maschine 1 abgeführt werden muss, um eine Überhitzung und eine damit einhergehende Beschädigung oder gar Zerstörung der Maschine 1 zu verhindern. Daher werden die Statorwicklungen 6 mithilfe eines Kühlmittels K gekühlt, welches durch den Stator 2 geführt wird und die von den Statorwicklungen 6 erzeugte Abwärme durch Wärmeübertragung aufnimmt.

Um das Kühlmittel K durch den Stator 2 zu führen, umfasst die Maschine 1 einen Kühlmittelverteilterraum 4, in welchen über einen Kühlmittleinlass 33 ein Kühlmittel K eingeleitet werden kann. Entlang der axialen Richtung A im Abstand zum Kühlmittelverteilterraum 4 ist ein Kühlmittelsammlerraum 5 angeordnet. Der Kühlmittelverteilterraum 4 kommuniziert mittels mehrerer Kühlkanäle 10, von welchen in der Darstellung der Figur 1 nur ein einziger erkennbar ist, fluidisch mit dem Kühlmittelsammlerraum 5. In einem in den Figuren nicht gezeigten Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A können der Kühlmittelverteilterraum 4 und der Kühlmittelsammlerraum 5 jeweils eine ringförmige Geometrie besitzen. Entlang der Umfangsrichtung U sind mehrere Kühlkanäle 10 beabstandet zueinander angeordnet, die sich jeweils entlang der axialen Richtung A vom ringförmigen Kühlmittelverteilterraum 4 zum ringförmigen Kühlmittelsammlerraum 5 erstrecken. Somit kann das über den Kühlmittleinlass 33 in den Kühlmittelverteilterraum 4 eingebrachte Kühlmittel K auf die einzelnen Kühlkanäle 10 verteilt werden. Nach dem Durchströmen der Kühlkanäle 10 und der Aufnahme von Wärme von den Statorwicklungen wird das Kühlmittel K im Kühlmittelsammlerraum 5 gesammelt und über einen am Stator 2 vorgesehenen Kühlmittelauslass 34 wieder aus der Maschine 1 ausgeleitet.

Wie die Darstellungen der Figuren 1 und 2 erkennen lassen, sind die Statorwicklungen 6 in Statornuten 9 angeordnet, die zwischen jeweils zwei in Umfangsrichtung U benachbarten Statorzähnen 8 ausgebildet sind. Besagte Statornuten 9 sind dem einschlägigen Fachmann auch als sogenannte "Stator-Nuten" oder "Stator-

Schlitz“ bekannt, die sich ebenso wie die Statorzähne 8 entlang der axialen Richtung A erstrecken.

Es versteht sich, dass die gemäß Figur 3 in der Statornut 9 angeordnete Statorwicklung 6 jeweils teilweise einer ersten Statorwicklung 6a zugehörig ist, die von einem ersten Statorzahn 8a getragen ist, und teilweise einer zweiten Statorwicklung 6b zugeordnet ist, die von einem dem ersten Statorzahn 8a in Umfangsrichtung U benachbarten, zweiten Statorzahn 8b getragen ist. Zur Verdeutlichung dieses Szenarios ist in Figur 3 eine virtuelle Trennlinie 12 eingezeichnet. Die in Figur 3 links der Trennlinie 12 gezeigten Wicklungsdrähte 13a gehören zu der von dem Statorzahn 8a getragenen Statorwicklung 6a. Die rechts der Trennlinie 12 gezeigten Wicklungsdrähte 13b gehören zu der von dem Statorzahn 8b getragenen Statorwicklung 6b.

Figur 3 zeigt eine zwischen zwei in Umfangsrichtung U benachbarten Statorzähnen 8 – diese werden im Folgenden auch als „Statorzähne 8a, 8b“ bezeichnet - ausgebildete Statornut 9 in einer Detaildarstellung und in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A. Die Statornut 9 weist eine radial äußere Nut-Zone 52a auf, die radial nach innen, vom Statorkörper 7 weg in eine radial innere Nut-Zone 52b übergeht. Eine entlang der Umfangsrichtung gemessene radial äußere Zonenbreite  $b_i$  der radial äußeren Nut-Zone 52a ist größer als eine entlang der Umfangsrichtung U gemessene radial äußere Zonenbreite  $b_a$  der radial äußeren Nut-Zone 52a. Der Übergang 52c von der radial äußeren Nut-Zone 52a in die radial innere Nut-Zone 52b ist im Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung als Stufe 52d realisiert. Im Erstreckungsbereich zwischen dem Kühlmittelverteilterraum 4 und dem Kühlmittelsammlerraum 5 erstreckt sich der Kühlkanal 10 in der Statornut 9, wo er von dem elektrisch isolierenden Kunststoff 11 begrenzt ist. Die beiden Statorzähne 8a, 8b können radial innen jeweils einen in Umfangsrichtung U abstehenden und die radial innere Nut-Zone 52b begrenzenden Fortsatz 51a, 51b aufweisen.

Im Erstreckungsbereich zwischen dem Kühlmittelverteilterraum 4 und dem Kühlmittelsammlerraum 5 erstreckt sich der Kühlkanal 10 in der Statornut 9. Um die Wärmeübertragung der von den Statorwicklungen 6 erzeugten Abwärme auf das durch die Kühlkanäle 10 strömende Kühlmittel K zu verbessern, ist entsprechend Figur 3 in den Statornuten 9 jeweils ein elektrisch isolierender Kunststoff 11 vorgesehen, welcher den Kühlkanal 10 begrenzt. Gemäß Figur 3 ist der Kühlkanal 10 innerhalb der Statornut 9 teilweise in der radial inneren Nut-Zone 52b und teilweise in der radial äußeren Nut-Zone 52a angeordnet. Der Kühlkanal 10 erstreckt sich radial somit auch über den Übergang 52c zwischen den beiden Nut-Zonen 52a, 52b hinweg.

Der elektrisch isolierende Kunststoff 11 ist durch eine erste Kunststoffmasse K1 aus einem ersten Kunststoffmaterial, durch eine zweite Kunststoffmasse K2 aus einem zweiten Kunststoffmaterial, und durch eine dritte Kunststoffmasse K3 aus einem dritten Kunststoffmaterial gebildet. Das erste Kunststoffmaterial ist ein Duroplast. Das zweite Kunststoffmaterial ist ein Duroplast. Das dritte Kunststoffmaterial ist hingegen ein Thermoplast, kann aber auch ein Duroplast sein. Es ist aber auch denkbar, dass alle drei Kunststoffmaterialien Thermoplaste sind. Die drei Kunststoffmassen K1, K2, K3 können jeweils Spritzgussmassen aus dem elektrisch isolierenden Kunststoff 11 sein. Die Anwendung eines Spritzgussverfahrens vereinfacht und beschleunigt die Herstellung der Kunststoffmasse. Im Beispielszenario sind in allen Statornuten 9 jeweils zumindest eine erste und eine zweite Kunststoffmasse K1, K2 angeordnet. Zweckmäßig ist die Wärmeleitfähigkeit der zweiten Kunststoffmasse K2 jeweils größer als die Wärmeleitfähigkeit der ersten bzw. dritten Kunststoffmasse K1, K3. Auf diese Weise kann die von den Statorwicklungen erzeugte Abwärme besonders effektiv abgeführt werden.

Gemäß Figur 3 sind die in der Statornut 9 angeordneten Statorwicklungen 6 in die Kunststoffmasse K2 aus dem zweiten Kunststoffmaterial eingebettet. Die zweite

Kunststoffmasse K2 mit der darin eingebetteten Statorwicklung 6 sind wiederum in die erste Kunststoffmasse K1 aus dem ersten Kunststoffmaterial eingebettet bzw. von dieser umgeben bzw. begrenzt.

Im Beispiel der Figur 3 wird der Kühlkanal 10 ausschließlich von der dritten Kunststoffmasse K3 des elektrisch isolierenden Kunststoffes 11 begrenzt. Denkbar ist aber auch, dass der Kühlkanal 10 in Umfangsrichtung U von der ersten Kunststoffmasse K1 und radial innen sowie radial außen von der dritten Kunststoffmasse K3 begrenzt wird (nicht gezeigt).

Entsprechend Figur 3 weist der Kühlkanal 10 in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A die Geometrie eines Trapezes mit zwei Breitseiten 53 und zwei Schmalseiten 54 auf. Bevorzugt besitzt der Kühlkanal 10 wie in Figur 3 dargestellt die Geometrie eines Rechtecks 61. In dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung ist eine Breitseite 53 radial innen, in der radial inneren Nut-Zone 52b, also radial innen, und die andere Breitseite 54 in der radial äußeren Nut-Zone 52a, also radial außen, angeordnet.

Im Beispiel der Figur 3 ist in der Statornut 9 zusätzlich zum Kühlkanal 10 ein zusätzlicher Kühlkanal 10a vorgesehen. Dieser wird durch mehrere Durchbrüche 40 – in Figur 3 sind exemplarisch vier solche Durchbrüche 40 dargestellt – gebildet ist, die in einem der Nutenöffnungen 52 gegenüberliegenden, radial äußeren Endabschnitt 55 der Statornut 9 angeordnet sind. In dem in Figur 3 gezeigten Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A umgibt bzw. umhüllt die erste Kunststoffmasse K1 die Durchbrüche 40 jeweils vollständig. Auf diese Weise können die den Kühlkanal 10 bildende Durchbrüche 40 besonders wirksam thermisch an die Statorwicklungen 6 gekoppelt werden.

Die Durchbrüche 40 sind gemäß Figur 3 entlang der Umfangsrichtung U beabstandet zueinander angeordnet und erstrecken sich jeweils entlang der axialen

Richtung A. Die Durchbrüche 40 können als Durchgangsbohrungen realisiert sein, die mittels eines geeigneten Bohrwerkzeugs in die erste Kunststoffmasse K1 eingebracht werden. Die Durchbrüche 40 können in dem Querschnitt senkrecht zur Rotationsachse D jeweils die Geometrie eines Rechtecks mit zwei Breitseiten 20 und mit zwei Schmalseiten 21 aufweisen. Eine Länge der beiden Breitseiten 20 beträgt dabei wenigstens das Zweifache, vorzugsweise wenigstens das Vierfache, einer Länge der beiden Schmalseiten 21. Somit wird die vorteilhafte Geometrie eines Flachrohrs nachgebildet.

Im Beispiel der Figur 3 sind die den zusätzlichen Kühlkanal 10a bildenden Durchbrüche 40 bzgl. der radialen Richtung R radial außerhalb der Statorwicklungen 6 in der Kunststoffmasse 11 angeordnet. Der radiale Abstand des zusätzlichen Kühlkanals 10a zur Rotationsachse D des Rotors 3 ist also größer als der Abstand der Statorwicklung 6 zur Rotationsachse D; denkbar ist aber auch eine Anordnung der Kühlkanäle 10a radial innen. In dem in Figur 3 gezeigten Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A erstrecken sich die beiden Breitseiten 20 der Durchbrüche 40 jeweils senkrecht zur radialen Richtung R.

Die Figur 4 zeigt eine Variante des Beispiels der Figur 3. Im Beispiel der Figur 4 weist der Kühlkanal 10 in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A die Geometrie eines Dreiecks 65 mit drei Seiten 66a, 66b, 66c auf. Dabei ist eine Seite des Dreiecks 65 in der radial äußeren Nut-Zone 52a, also radial außen, und eine dieser Seite gegenüberliegende Ecke 67 des Dreiecks 65 in der radial inneren Nut-Zone 52b, also radial innen, angeordnet. Das Dreieck 65 kann wie in Figur 4 dargestellt als gleichschenkliges Dreieck ausgebildet sein, so dass die radial außen angeordnete Seite 66a eine Basis 68 und die radial innen angeordnete Ecke 67 eine Spitze 69 des Dreiecks 65 ausbildet.

Die Figur 5 zeigt eine weitere Variante des Beispiels der Figur 3. Im Beispiel der Figur 5 weist der Kühlkanal 10 in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung

die Geometrie eines Kreissegments 62 mit einem Kreisbogen 63 und mit einer Kreissehne 64 auf. In dem in Figur 5 gezeigten Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A sind die Kreissehne 64 in der radial äußeren Nut-Zone 52a, also radial außen, und der Kreisbogen 63 in der radial inneren Nut-Zone 52b, also radial innen, angeordnet. Eine senkrecht zum Kreisbogen 63 gemessene Segmenthöhe  $h$  des Kreissegments 62 weist einen Wert auf, der kleiner oder gleich dem Radius  $r$  des Kreissegments 62 ist. Im Beispiel der Figur 5 erstreckt sich die Segmenthöhe  $h$  entlang der radialen Richtung R des Stators 2.

Die Figur 6 zeigt eine weitere Variante des Beispiels der Figur 3. Im Beispiel der Figur 6 besitzt der Kühlkanal 10 in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung eine T-artige Geometrie mit einem sich entlang der radialen Richtung R erstreckenden Radialabschnitt 70 und einen sich orthogonal zur radialen Richtung R erstreckenden Querabschnitt 71. In dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung A ist der Radialabschnitt 70 dabei der radial inneren Nut-Zone 52b, also radial innen angeordnet. Der Querabschnitt 71 ist hingegen in der radial äußeren Nut-Zone 52a, also radial außen angeordnet.

Die Figuren 7 bis 9 zeigen Weiterbildungen des Beispiels der Figur 3, die mit den Varianten der Figuren 4 bis 6 kombiniert werden können. Auch im Beispiel gemäß Figur 7 ist – in analoger Weise zum Beispiel der Figur 3 zusätzlich zum Kühlkanal 10 ein zusätzlicher Kühlkanal 10c vorgesehen. Der zusätzliche Kühlkanal 10c ist jedoch nicht in der ersten Kunststoffmasse K1, sondern im Statorkörper 7 des Stators 2 angeordnet. Wie Figur 7 erkennen lässt, sind die den Kühlkanal 10c bildenden Durchbrüche 40 radial außerhalb der Statornut 9 und bzgl. der Umfangsrichtung U zwischen zwei benachbarten Statorzähnen 8a, 8b im Statorkörper 7 angeordnet. Der zusätzliche Kühlkanal 10c kann, vorzugsweise im Zuge der Herstellung des Statorkörpers 7, durch Einbringen der Durchbrüche 40 - bevorzugt in Form von Bohrungen mit Hilfe eines geeigneten Bohrwerkzeugs – in den Stator-

körper 7 bzw. in die den Statorkörper 7 bildenden Statorkörperplatten – gebildet werden.

Die Figur 8 zeigt eine Variante des Beispiels der Figur 7. Auch bei der Variante gemäß Figur 8 sind die den zusätzlichen Kühlkanal 10c bildenden Durchbrüche 40 im Statorkörper 7 des Stators 2 angeordnet. Im Beispiel der Figur 8 sind aber – im Gegensatz zur Variante der Figur 7 - die im Statorkörper 7 angeordneten Durchbrüche 40 zur Statornut 9 hin offen ausgebildet. Die Durchbrüche 40 werden daher radial innen, also zur Statornut 9 hin von der in der Statornut 9 angeordneten ersten Kunststoffmasse K1 fluiddicht verschlossen.

Zur Herstellung der vorangehend diskutierten elektrischen Maschine 1 werden die Statorzähne 3 mit der ersten Kunststoffmasse K1 umspritzt. Nach dem Umspritzen wird in die Statornuten 9 in denjenigen Bereich, in welchem der Kühlkanal 10 entstehen soll, eine Maskierung (nicht gezeigt) eingebracht. Die Maskierung füllt also das Volumen der Statornut 9, welches später den Kühlkanal 10 bilden soll, vollständig aus. Die Maskierung besitzt also typischerweise dieselbe Geometrie wie der zu bildende Kühlkanal. Die Maskierung kann also insbesondere die Geometrie eines Rechtecks, Dreiecks, Kreissegments sowie eine T-artige Geometrie aufweisen. In jedem Fall werden durch die Geometrie der Maskierung und ihre Position in der Statornut 9 beim Umspritzen mit dem Kunststoff 11 auch die Geometrie und Position des zu bildenden Kühlkanals 10 festgelegt. Die Maskierungen können jeweils in der Art eines Plättchens o.ä. ausgebildet sein (nicht gezeigt).

In einem weiteren Verfahrensschritt werden auf den Statorzähnen 3 die Statorwicklungen 6 angeordnet. In einem weiteren Verfahrensschritt werden die Statorwicklungen 6 durch zumindest teilweises Umspritzen mit der zweiten Kunststoffmasse K2 auf den Statorzähnen 3 fixiert.



Nach dem Umspritzen mit der zweiten Kunststoffmasse K2 werden die Maskierungen in einem Verfahrensschritt e) wieder aus den Statornuten 9 entfernt, so dass ein nach dem Entfernen der Maskierungen jeweils vorhandener Hohlraum wie gewünscht einen Kühlkanal 10 zum Durchströmen mit einem Kühlmittel ausbilden kann.

In einem weiteren Verfahrensschritt können die die Kühlkanäle 10 begrenzende zweite Kunststoffmasse K2, die mittels der zweiten Kunststoffmasse K2 an den Statorzähnen 3 fixierten Statorwicklungen 6 sowie die vor dem Entfernen der Maskierungen von diesen abgedeckten Oberflächenabschnitte der Statorzähne 3 mit der dritten Kunststoffmasse K3 umspritzt werden.

Nach dem Umspritzen mit der dritten Kunststoffmasse K3 sind die Kühlkanäle 10 entweder von der ersten oder von der dritten Kunststoffmasse K1, K3 begrenzt. Mit anderen Worten, das Umspritzen mit der dritten Kunststoffmasse K3 erfolgt besonders zweckmäßig derart, dass nach dem Umspritzen die Hohlräume 8 bzw. die Kühlkanäle 10, 10a an keiner Stelle unmittelbar von der Statorwicklungen 6 oder vom Statorkörper 2 begrenzt wird.

In einem weiteren Verfahrensschritt kann zumindest eine Außenumfangsseite 30 des Statorkörpers 7 mit einer vierten Kunststoffmasse K4 (vgl. Figur 1) umspritzt werden. Auf diese Weise kann der elektrisch leitende Statorkörper 7 elektrisch gegenüber der äußeren Umgebung der elektrischen Maschine 1 isoliert werden.

Im Folgenden wird wieder auf die Figur 1 Bezug genommen. Wie die Figur 1 anschaulich belegt, kann die dritte Kunststoffmasse K3 axial beidseitig aus den Statornuten 9 herausragen. Dies erlaubt es, auch den Kühlmittelverteilterraum 4 sowie, alternativ oder zusätzlich, den Kühlmittelsammlerraum 5 zur thermischen Ankopplung an die beiden axialen Endabschnitte 14a, 14b der jeweiligen Statorwicklung 6 in die zweite Kunststoffmasse K2 einzubetten, die axial außerhalb des

jeweiligen Statornut 9 angeordnet ist. Auf diese Weise kann auch im Bereich der üblicherweise thermisch besonders belasteten axialen Endabschnitte 14a, 14b der betreffenden Statorwicklung 6 ein effektiver Wärmeübergang mit dem im Kühlmittelverteilterraum 4 bzw. Kühlmittelsammlerraum 5 vorhandenen Kühlmittel K hergestellt werden. Diese Maßnahme erlaubt eine besonders effektive Kühlung der beiden axialen Endabschnitte 14a, 14b der Statorwicklung 6.

Ferner ist gemäß Figur 1 der Stator 2 mit dem Statorkörper 7 und den Statorzähnen 8 axial zwischen einem ersten und einem zweiten Lagerschild 25a, 25b angeordnet.

Wie die Figur 1 erkennen lässt, ist ein Teil des Kühlmittelverteilterraums 4 in dem ersten Lagerschild 25a und ein Teil des Kühlmittelsammlerraums 5 in dem zweiten Lagerschild 25b angeordnet. Der Kühlmittelverteilterraum 4 und der Kühlmittelsammlerraum 5 sind somit jeweils teilweise durch einen in der dritten und/oder vierten Kunststoffmasse K3, K4 vorgesehenen Hohlraum 41a, 41b gebildet.

Der erste Hohlraum 41a wird dabei durch einen im ersten Lagerschild 25a ausgebildeten Hohlraum 42a zum Kühlmittelverteilterraum 4 ergänzt. Entsprechend wird der zweite Hohlraum 41b durch einen im zweiten Lagerschild 25b ausgebildeten Hohlraum 42b zum Kühlmittelsammlerraum 5 ergänzt. Bei der vorangehend erläuterten Ausführungsvariante begrenzt die dritte Kunststoffmasse K3 und/oder vierte Kunststoffmasse den Kühlmittelverteilterraum 4 sowie den Kühlmittelsammlerraum 5 also zumindest teilweise.

Im ersten Lagerschild 25a kann ferner eine Kühlmittelzuführung 35 ausgebildet sein, welche den Kühlmittelverteilterraum 4 fluidisch mit einem außen, insbesondere wie in Figur 1 dargestellt umfangsseitig, am ersten Lagerschild 25a vorgesehenen Kühlmittleinlass 33 verbindet. Im zweiten Lagerschild 25b kann entsprechend eine Kühlmittelabführung 36 ausgebildet sein, welche den Kühlmittelsamm-

lerraum 5 fluidisch mit einem außen, insbesondere wie in Figur 1 dargestellt umfangsseitig, am Lagerschild 25b vorgesehenen Kühlmittelauslass 34 verbindet. Dies ermöglicht eine Anordnung des Kühlmittelverteilterraums 4 bzw. des Kühlmittelsammelerraum 5 jeweils radial außen am ersten bzw. zweiten Endabschnitt 14a, 14b der betreffenden Statorwicklung 6 und auch in der Verlängerung dieser Endabschnitte 14a, 14b entlang der axialen Richtung A. Die im Betrieb der Maschine 1 thermisch besonders belasteten Endabschnitte 14a, 14b der Statorwicklungen 6 werden auch mittels dieser Maßnahme besonders effektiv gekühlt.

Gemäß Figur 1 kann auf einer Außenumfangsseite 30 des Statorkörpers 7 eine vierte Kunststoffmasse K4, die Teil des elektrisch isolierenden Kunststoffes 11 ist, angeordnet sein und somit auf der Außenumfangsseite 30 eine Kunststoffbeschichtung 11.1 ausbilden. Auf diese Weise kann der typischerweise aus elektrisch leitenden Statorplatten gebildete Statorkörper 7 des Stators 2 elektrisch gegen die Umgebung isoliert werden. insbesondere kann somit die Bereitstellung eines separaten Gehäuses zur Aufnahme des Statorkörpers 7 entfallen. Das vierte Kunststoffmaterial K4 ist ein Duroplast.

Die Figur 9 zeigt eine Variante des Beispiels der Figur 1. Um auch die Rotorwelle 31 sowie die beiden Wellenlager 32a, 32b im Betrieb der Maschine 1 zu kühlen, kann die Kühlmittelzuführung 35 thermisch an das im ersten Lagerschild 25a angeordnete, erste Wellenlager 32a gekoppelt sein. Ebenso kann die Kühlmittelabfuhrung 36 thermisch an das im zweiten Lagerschild 25b angeordnete, zweite Wellenlager 32b gekoppelt sein. Eine separate Kühleinrichtung zum Kühlen der Wellenlager 32a, 32b kann auf diese Weise entfallen, woraus sich Kostenvorteile ergeben. Im Beispiel der Figur 9 sind der Kühlmittelinlass 33 und der Kühlmittelauslass 34 an der äußeren Stirnseite 26a, 26b des jeweiligen Lagerschildes 25a, 25b vorgesehen. Bei der Variante gemäß den Figuren 9 und 1 sind die Statorwicklungen 6 entlang der radialen Richtung R radial innerhalb der Kühlkanäle 10 angeordnet. Die Statorwicklungen 6 sind mit einem elektrischen Anschluss 50 durch

eine im zweiten Lagerschild 25b vorgesehene Durchführung 39 aus dem Stator 2 heraus nach außen geführt, so dass sie von außen elektrisch bestromt werden können. Die Durchführung 39 ist radial zwischen dem Kühlmittelverteilterraum 4 bzw. dem Kühlmittelsammlerraum 5 und der Drehachse D angeordnet.

Im Beispiel der Figur 10, welche eine gegenüber der Figur 9 vereinfachte Ausführungsform zeigt, sind der Kühlmittelverteilterraum 4 und der Kühlmittelsammlerraum 5 ausschließlich in der axialen Verlängerung der Kühlkanäle 10 angeordnet. Diese Variante benötigt für den Kühlmittelverteilterraum 4 und für den Kühlmittelsammlerraum 5 besonders wenig Bauraum. Bei der Variante gemäß Figur 10 sind die Statorwicklungen 6 entlang der radialen Richtung R radial innerhalb der Kühlkanäle 10 angeordnet. Die Statorwicklungen 6 sind mit einem elektrischen Anschluss 50 durch eine im zweiten Lagerschild 25b vorgesehene Durchführung 39 aus dem Stator 2 heraus nach außen geführt, so dass sie von außen elektrisch bestromt werden können. Die Durchführung 39 ist bzgl. der radialen Richtung radial außerhalb des Kühlmittelverteilterraums 4 bzw. des Kühlmittelsammlerraum 5 im zweiten Lagerschild 25b angeordnet.

Im Beispiel der Figur 11 ist eine Weiterbildung der Figur 9 gezeigt. Bei dieser Weiterbildung umgibt der Kühlmittelverteilterraum 4 in dem in Figur 9 dargestellten Längsschnitt entlang der Rotationsachse D den ersten axialen Endabschnitt 14a der jeweiligen Statorwicklung 6 U-förmig, also axial endseitig sowie radial innen und radial außen. Entsprechend umgibt der Kühlmittelsammlerraum 5 in dem Längsschnitt entlang der Rotationsachse D den zweiten axialen Endabschnitt 14b der jeweiligen Statorwicklung 6 U-förmig, also axial endseitig sowie radial innen und radial außen. Bei dieser Variante sind Kühlkanäle 10 sowohl radial innerhalb als auch radial außerhalb der Statorwicklung 6 vorgesehen. Somit sind die jeweiligen Statorwicklungen 6 einschließlich ihrer axialen Endabschnitte 14a, 14b über die Kühlkanäle 10 sowie den Kühlmittelverteilterraum 4 sowie den Kühlmittelsammlerraum 5 in direktem thermischem Kontakt mit dem Kühlmittel K. Dies erlaubt eine

besonders effektive Kühlung der Statorwicklung 6 einschließlich der thermisch besonderen Belastungen ausgesetzten axialen Endabschnitte 14a, 14b.

Auf den axialen Endabschnitte 14a, 14b der Statorwicklungen 6 kann jeweils eine zusätzliche elektrisch isolierende Isolation (nicht gezeigt) angeordnet sein. Zwar werden die elektrisch leitenden Statorwicklungen üblicherweise bereits bei ihrer Fertigung mit einer elektrischen Isolation umgeben, um zu verhindern, dass bei Kontakt einzelner Wicklungsabschnitte miteinander elektrische Kurzschlüsse erzeugt werden. Jedoch kann nicht sichergestellt werden, dass nach Fertigung und Montage der Statorwicklungen 6 alle diese Statorwicklungen 6 durchgehend mit einer solchen Isolation ausgestattet sind. Mittels der hier vorgestellten zusätzlichen, also redundanten elektrisch isolierenden Isolation wird sichergestellt, dass die axialen Endabschnitte 14a, 14b weder den Kühlmittelverteilterraum 4 noch den Kühlmittelsammlerraum 5 unmittelbar begrenzen. Auf diese Weise kann ein unerwünschter elektrischer Kurzschluss des im Kühlmittelverteilterraum 4 bzw. im Kühlmittelsammlerraum 5 vorhandenen Kühlmittels mit den elektrisch leitenden Statorwicklungen 6 verhindert werden.

Die elektrisch isolierende Isolation ist im Beispielszenario zumindest durch einen Isolationslack gebildet. Ein solcher Isolationslack kann im Zuge der Herstellung des Stators 2 durch Besprühen der Statorwicklungen 6 auf diese aufgebracht werden. Die zusätzliche Isolation kann aber auch durch den elektrisch isolierenden Kunststoff 11, beispielsweise durch die dritte Kunststoffmasse K3 sowie, alternativ oder zusätzlich, durch die vierte Kunststoffmasse K4 gebildet werden.

\*\*\*\*\*

## Ansprüche

1. Elektrische Maschine (1), insbesondere für ein Fahrzeug,
  - mit einem Rotor (3), der um eine Rotationsachse (D) drehbar ist, durch welche eine axiale Richtung (A) der elektrischen Maschine (1) definiert ist, und mit einem Stator (2), der Statorwicklungen (6) aufweist,
  - mit einem Kühlmittelverteilterraum (4) und einem axial im Abstand zu diesem angeordneten Kühlmittelsammlerraum (5), wobei der Kühlmittelverteilterraum (4) zum Kühlen der Statorwicklungen (6) mittels wenigstens eines von einem Kühlmittel (K) durchströmbaren Kühlkanals (10) fluidisch mit dem Kühlmittelsammlerraum (5) kommuniziert,
  - wobei der Stator (2) sich entlang der axialen Richtung (A) erstreckende und entlang einer Umfangsrichtung (U) beabstandet zueinander angeordnete Statorzähne (8) besitzt, welche die Statorwicklungen (6) tragen und welche von einem Statorkörper (7) des Stators (2) radial nach innen abstehen,
  - wobei zwischen zwei in Umfangsrichtung (U) benachbarten Statorzähnen (8) jeweils eine Statornut (9) gebildet ist, welche eine radial äußere Nut-Zone (52a, 52b) aufweist, die radial nach innen, vom Statorkörper (7) weg in eine radial innere Nut-Zone (52b) übergeht, deren entlang der Umfangsrichtung (U) gemessene radial innere Zonenbreite ( $b_i$ ) kleiner ist als die entlang der Umfangsrichtung (U) gemessene radial äußere Zonenbreite ( $b_a$ ) der radial äußeren Nut-Zone (52a),
  - wobei zumindest eine Statorwicklung (6) zur thermischen Kopplung in einen elektrisch isolierenden Kunststoff (11) eingebettet ist, der in einer der Statornuten (9) angeordnet ist,

- wobei der wenigstens eine Kühlkanal (10) sich zumindest abschnittsweise in der Statornut (9) erstreckt, dort von dem elektrisch isolierenden Kunststoff (11) begrenzt ist und innerhalb der Statornut (9) in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung (A) an einem Übergang (52c) von der radial äußeren zur radial inneren Nut-Zone (52a, 52b) angeordnet ist.
2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Kühlkanal (10) innerhalb der Statornut (9) teilweise in der radial inneren Nut-Zone (52b) und teilweise in der radial äußeren Nut-Zone (52a) angeordnet ist.
  3. Elektrische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Kühlkanal (10) in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung (A) die Geometrie eines Kreissegments (62) mit einem Kreisbogen (63) und mit einer Kreissehne (64) aufweist.
  4. Elektrische Maschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung die Kreissehne (64) radial außen, vorzugsweise in der radial äußeren Nut-Zone (52a), und der Kreisbogen (63) radial innen, vorzugsweise in der radial inneren Nut-Zone (52b), angeordnet ist.
  5. Elektrische Maschine nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine senkrecht zum Kreisbogen (63) gemessene Segmenthöhe (h) des Kreissegments (62) einen Wert aufweist, der kleiner oder gleich dem Radius (r) des Kreissegments (62) ist.

6. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Kühlkanal (10) in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung (A) die Geometrie eines Trapezes (60), vorzugsweise eines Rechtecks (61), mit zwei Breitseiten (53) und zwei Schmalseiten (54) aufweist.
7. Elektrische Maschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung (A) eine Breitseite (53) radial innen, vorzugsweise in der radial inneren Nut-Zone (52b), und die andere Breitseite (53), radial außen, vorzugsweise in der radial äußeren Nut-Zone (52a), angeordnet ist.
8. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine Kühlkanal (10) in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung die Geometrie eines Dreiecks (65) mit drei Seiten (66a, 66b, 66c) aufweist, wobei eine Seite (66a) des Dreiecks radial außen, vorzugsweise in der radial äußeren Nut-Zone (52a), und eine dieser Seite (66a) gegenüberliegende Ecke (67) des Dreiecks radial innen, vorzugsweise in der radial inneren Nut-Zone (52b), angeordnet ist.
9. Elektrische Maschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Dreieck (65) als gleichschenkliges Dreieck ausgebildet ist, so dass die radial außen angeordnete Seite (66a) eine Basis (68) und die radial innen angeordnete Ecke (67) eine Spitze (69) des Dreiecks (65) ausbildet.



10. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
der Kühlkanal (10) in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung (A) eine T-artige Geometrie mit einem sich entlang der radialen Richtung (R) erstreckenden Radialabschnitt (70) und mit einem sich orthogonal zur radialen Richtung (R) erstreckenden Querabschnitt (71) aufweist.
11. Elektrische Maschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass  
in dem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung (A) der Radialabschnitt (70) radial innen, vorzugsweise in der radial inneren Nut-Zone (52b), und der Querabschnitt (71), vorzugsweise in der radial äußeren Nut-Zone (52a), radial außen angeordnet ist.
12. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
der elektrisch isolierende Kunststoff (11) zumindest durch eine erste Kunststoffmasse (K1) aus einem ersten Kunststoffmaterial und durch eine zweite Kunststoffmasse (K2) aus einem zweiten Kunststoffmaterial gebildet ist, dessen thermische Leitfähigkeit vorzugsweise größer ist als die thermische Leitfähigkeit des ersten Kunststoffmaterials (K1).
13. Elektrische Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass
- in der Statornut (9) zumindest eine Statorwicklung (6) in die zweite Kunststoffmasse (K2) aus dem zweiten Kunststoffmaterial eingebettet ist,
  - die zweite Kunststoffmasse (K2) mit der darin eingebetteten Statorwicklung (6) zumindest teilweise von der ersten Kunststoffmasse (K1) aus dem ersten Kunststoffmaterial umgeben, vorzugsweise in diese eingebettet, ist.

14. Elektrische Maschine nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass  
der elektrisch isolierende Kunststoff (11) teilweise auch durch eine dritte Kunststoffmasse (K3) gebildet ist, welche den Kühlkanal (10) zumindest teilweise begrenzt.
15. Elektrische Maschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass
- der Kühlkanal (10) ausschließlich durch die dritte Kunststoffmasse (K3) begrenzt ist, oder dass
  - der Kühlkanal (10) zumindest teilweise durch die erste Kunststoffmasse (K1) und zumindest teilweise durch die dritte Kunststoffmasse (K3) begrenzt ist.
16. Elektrische Maschine nach Anspruch 15, erste Alternative, dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Kühlmittelbeständigkeit der dritten Kunststoffmasse (K3) größer ist als die Kühlmittelbeständigkeit der ersten oder zweiten Kunststoffmasse (K1, K2)
17. Elektrische Maschine nach Anspruch 15, zweite Alternative, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Kühlmittelbeständigkeit der ersten und der dritten Kunststoffmasse (K3) jeweils größer ist als die Kühlmittelbeständigkeit der zweiten Kunststoffmasse (K1, K2)
18. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass  
das erste Kunststoffmaterial der ersten Kunststoffmasse und/ oder das zweite Kunststoffmaterial der zweiten Kunststoffmasse und/oder das dritte Kunststoffmaterial der dritten Kunststoffmasse einen Duroplasten umfasst oder ein Duroplast ist.

19. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass  
das erste Kunststoffmaterial der ersten Kunststoffmasse und/ oder das zweite Kunststoffmaterial der zweiten Kunststoffmasse und/oder das dritte Kunststoffmaterial der dritten Kunststoffmasse einen Thermoplasten umfasst oder ein Thermoplast ist.
20. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass
- das erste Kunststoffmaterial (K1) einen Duroplasten umfasst oder ein Duroplast ist, und/oder dass
  - das zweite Kunststoffmaterial (K2, K3) einen Duroplasten umfasst oder ein Duroplast ist, und/oder dass
  - das dritte Kunststoffmaterial (K3) einen Thermoplasten oder Duroplasten umfasst oder ein Thermoplast oder Duroplast ist.
21. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
auf einer Außenumfangsseite (30) des Statorkörpers (7) eine vierte Kunststoffmasse (K4) aus einem vierten Kunststoffmaterial, vorzugsweise aus einem Duroplasten oder aus einem Thermoplasten, angeordnet ist.
22. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass  
wenigstens ein zusätzlicher Kühlkanal (10a) durch wenigstens einen Durchbruch (40) gebildet ist, der in einem der Nutenöffnung (52) gegenüberliegenden, radial äußeren Endabschnitt (55) der Statormut (9) angeordnet ist.
23. Elektrische Maschine nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass

die erste Kunststoffmasse (K1) in einem Querschnitt senkrecht zur axialen Richtung (A) zumindest einen Durchbruch (40), vorzugsweise alle Durchbrüche (40), zumindest teilweise, vorzugsweise vollständig, umgibt oder umhüllt.

24. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein zusätzlicher Kühlkanal (10c) vorhanden und durch wenigstens einen Durchbruch (40) gebildet ist, der radial außerhalb der Statornut (9) im Statorkörper 7 angeordnet ist.
25. Elektrische Maschine nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der den zusätzlichen Kühlkanal (10c) bildende und im Statorkörper (7) angeordnete Durchbruch (40) zum Statornut (9) hin offen ausgebildet ist und von dem im Statornut (9) angeordneten elektrisch isolierenden Kunststoff (11), vorzugsweise von der ersten Kunststoffmasse (K1), fluiddicht verschlossen ist.
26. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlmittelverteilterraum (4) und/oder der Kühlmittelsammlerraum (5) zur thermischen Ankopplung an die Statorwicklungen (6) wenigstens teilweise in dem elektrisch isolierenden Kunststoff (11), vorzugsweise in der dritten und/oder vierten Kunststoffmasse (K3, K4), angeordnet sind.
27. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 14 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und/oder zweite und/oder dritte Kunststoffmasse (K1, K2, K3) durch eine Spritzgussmasse aus dem ersten bzw. zweiten bzw. dritten Kunststoffmaterial gebildet ist.

28. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die dritte Kunststoffmasse (K3) axial aus dem Statornut (9) herausragt.
29. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf einer Außenumfangsseite (30) des Statorkörpers (7) eine vierte Kunststoffmasse (K4) aus einem vierten Kunststoffmaterial angeordnet ist.
30. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte und/oder vierte Kunststoffmasse (K3, K4) den Kühlmittelverteilerraum (4) und/oder den Kühlmittelsammlerraum (5) zumindest teilweise begrenzt.
31. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in zumindest einer, vorzugsweise in jeder, Statornut (9) zwischen zwei jeweils in Umfangsrichtung (U) benachbarten Statorzähnen (8a, 8b) zumindest ein Kühlkanal (10) und der elektrisch isolierende Kunststoff (11) vorhanden sind.
32. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Wärmeleitfähigkeit der zweiten Kunststoffmasse (K2) jeweils größer ist als die Wärmeleitfähigkeit der ersten oder dritten oder vierten Kunststoffmasse (K1, K3, K4).
33. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Wärmeleitfähigkeit der zweiten Kunststoffmasse (K2) jeweils gleich ist wie die Wärmeleitfähigkeit der ersten oder dritten oder vierten Kunststoffmasse (K1, K3, K4).
34. Elektrische Maschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Statorwicklung (6), vorzugsweise alle Statorwicklungen (6), zwei axiale Endabschnitte (14a, 14b) aufweist/aufweisen, auf welchen eine zusätzliche elektrisch isolierende Isolation angeordnet ist, so dass die axialen Endabschnitte (14a, 14b) weder den Kühlmittelverteilterraum (4) noch den Kühlmittelsammlerraum (5) unmittelbar begrenzen.
35. Elektrische Maschine nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrisch isolierende Isolation zumindest teilweise, bevorzugt vollständig, durch einen Isolationslack und/oder den elektrisch isolierenden Kunststoff (11), vorzugsweise die dritte und/oder die vierte Kunststoffmasse (K3, K4), gebildet ist.
36. Fahrzeug, insbesondere Kraftfahrzeug, mit wenigstens einer elektrischen Maschine (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

\*\*\*\*\*



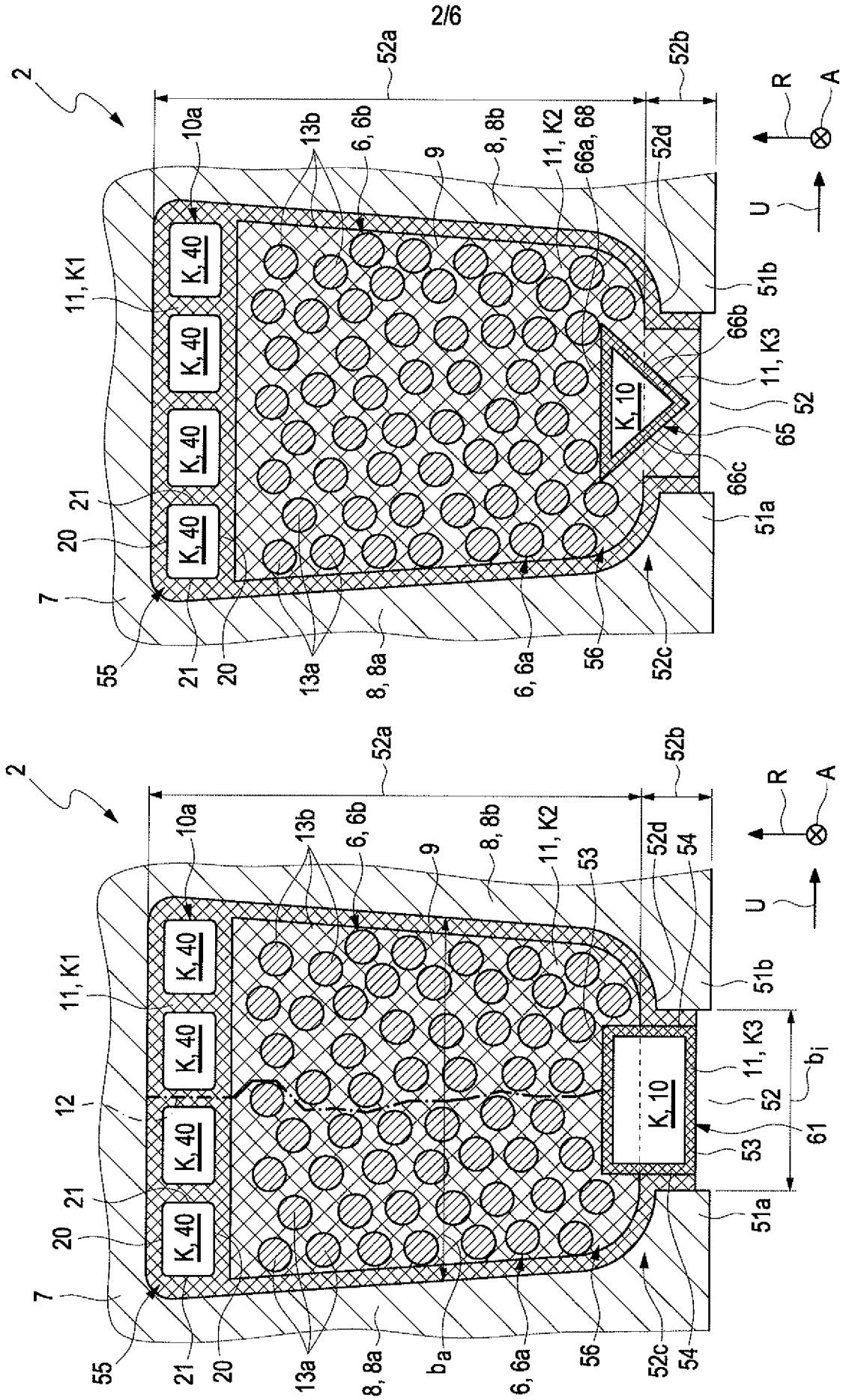


Fig. 4

Fig. 3

2/6





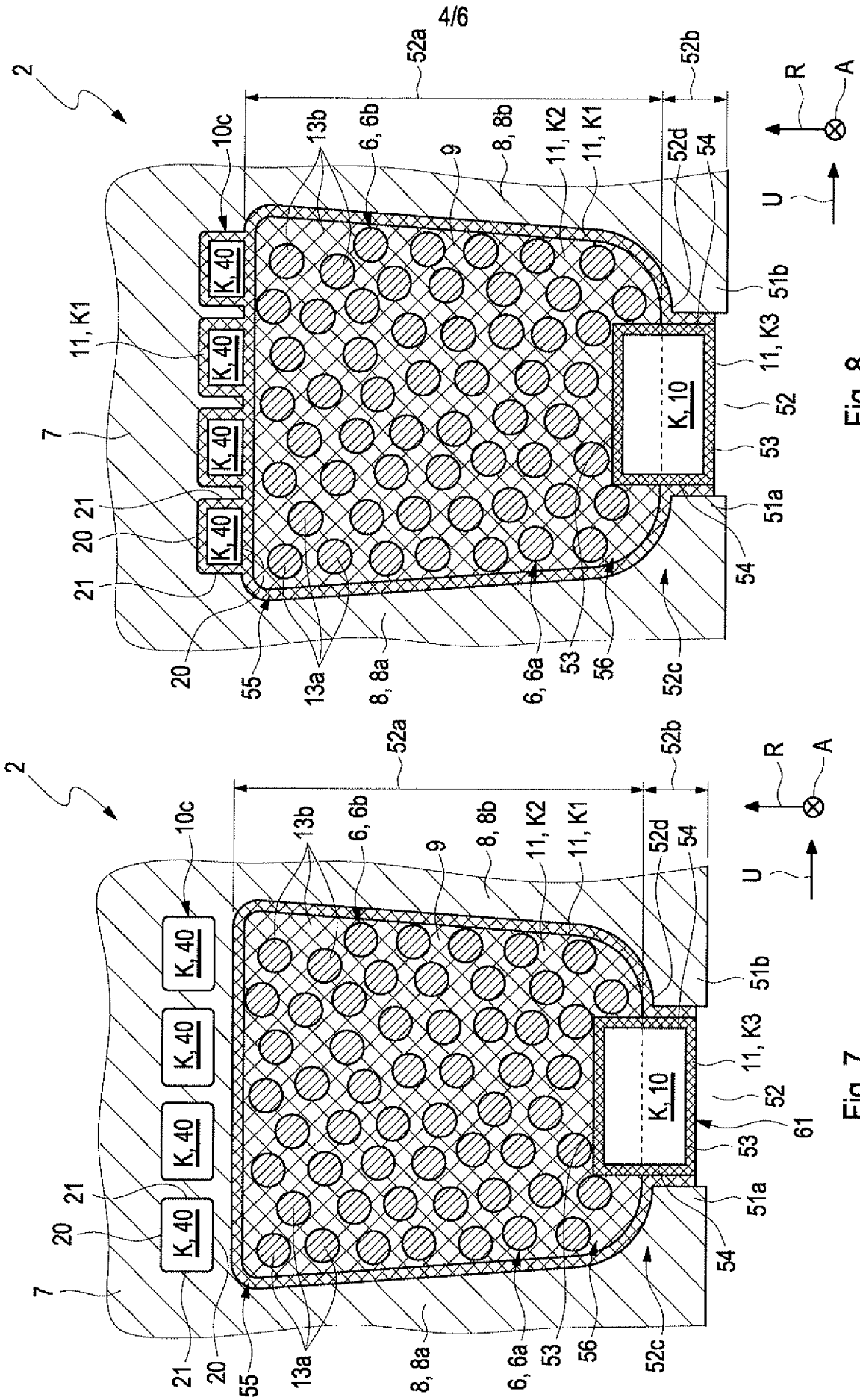


Fig. 7

Fig. 8

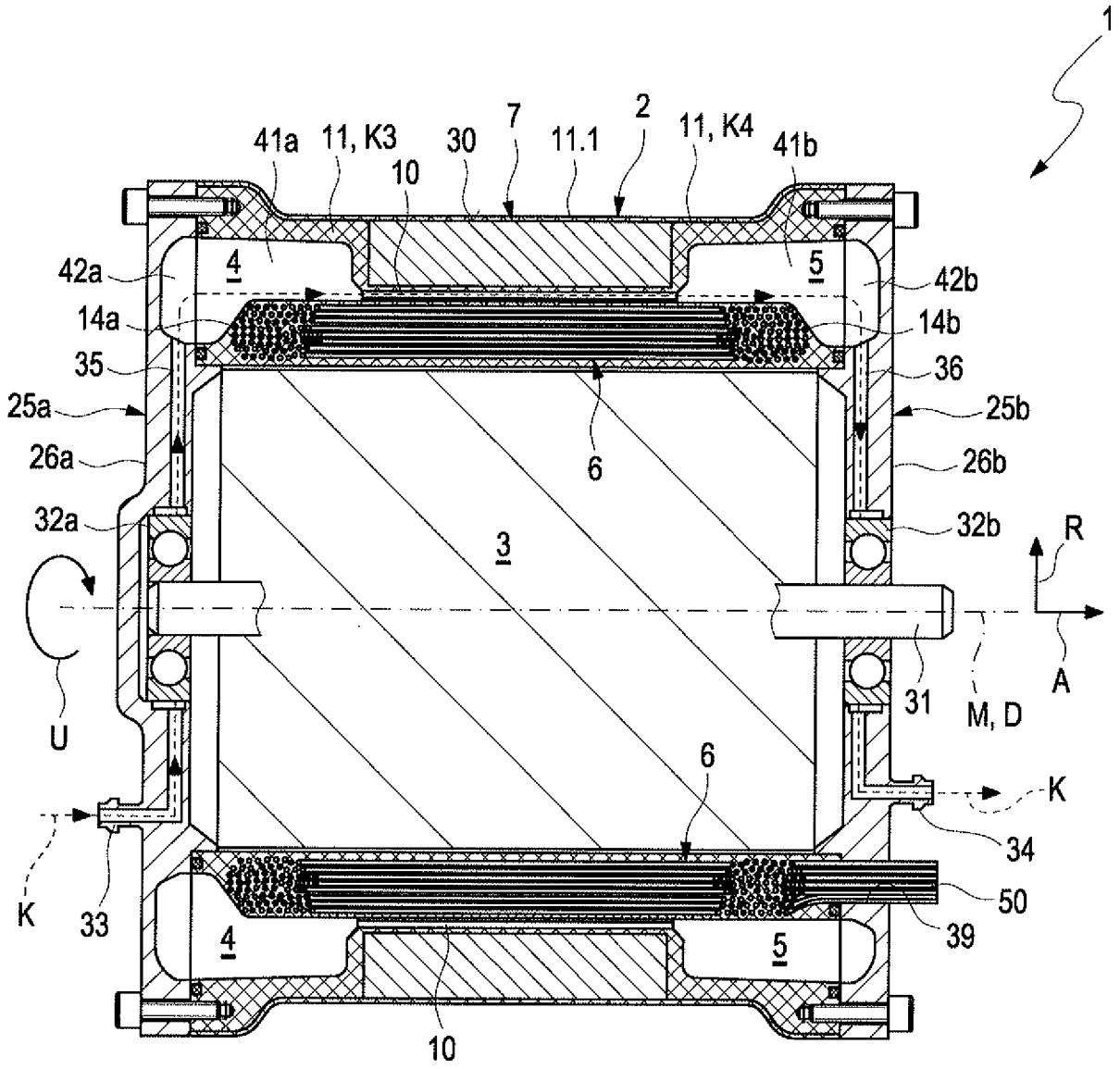


Fig. 9

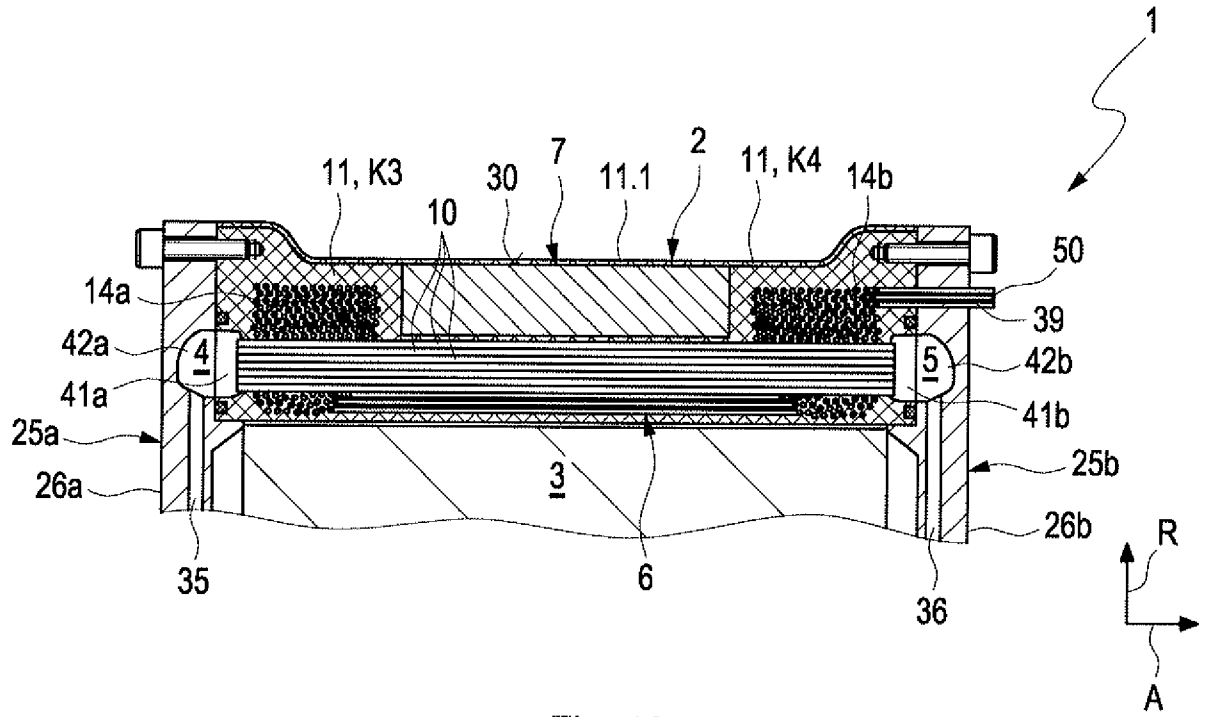


Fig. 10

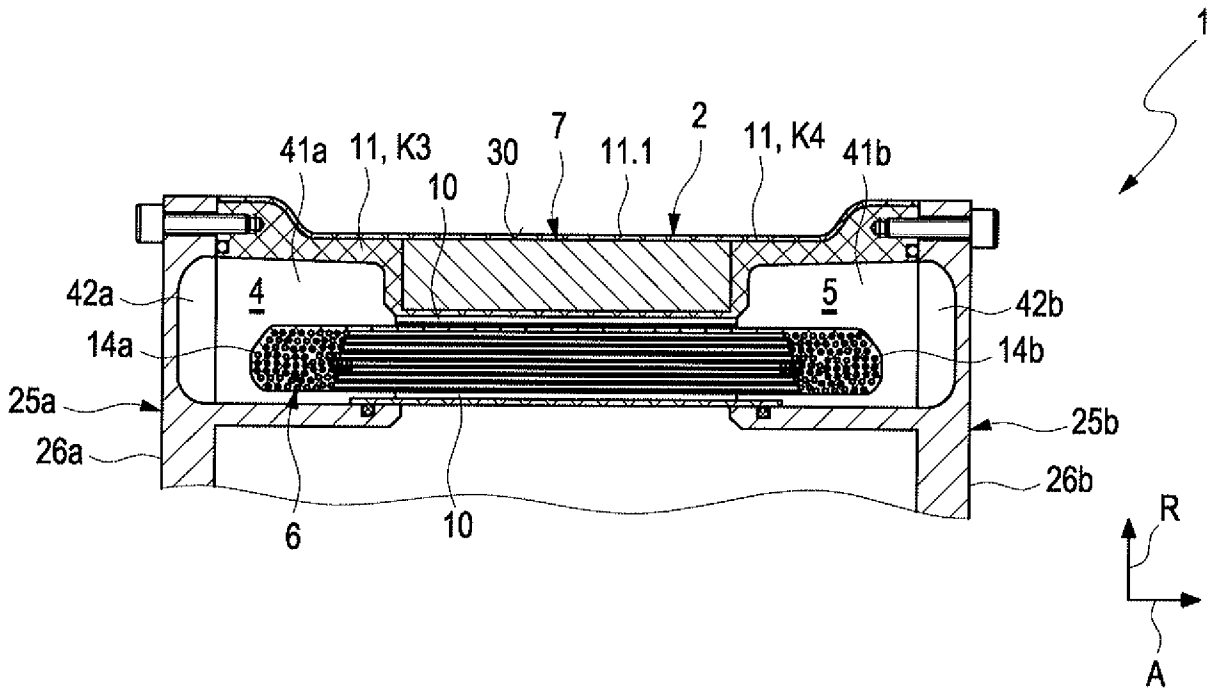


Fig. 11

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2018/081559**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<b>H02K 3/24</b> (2006.01)i; <b>H02K 5/08</b> (2006.01)i; <b>H02K 9/197</b> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02K		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP H10271738 A (SHIBAURA ENG WORKS LTD) 09 October 1998 (1998-10-09) abstract; figures 5-7,8,4a	1-6,10-21,26-36 7-9,22-25
Y	DE 102014219724 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 31 March 2016 (2016-03-31) figure 2b	7
Y	DE 102006008423 A1 (WILO AG [DE]) 30 August 2007 (2007-08-30) figure 4	8,9
Y	DE 102007054364 A1 (GM GLOBAL TECH OPERATIONS INC [US]) 29 May 2008 (2008-05-29) figure 4	22,23
Y	CN 203352307 U (CAO YUXUAN) 18 December 2013 (2013-12-18) abstract; figure 4	24,25
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>06 February 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>15 February 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Türk, Severin</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2018/081559**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	H10271738	A	09 October 1998	NONE	
DE	102014219724	A1	31 March 2016	CN 106716794 A	24 May 2017
				DE 102014219724 A1	31 March 2016
				EP 3202018 A1	09 August 2017
				WO 2016050387 A1	07 April 2016
DE	102006008423	A1	30 August 2007	CN 101336506 A	31 December 2008
				DE 102006008423 A1	30 August 2007
				EP 1987579 A1	05 November 2008
				US 2009022610 A1	22 January 2009
				WO 2007095982 A1	30 August 2007
DE	102007054364	A1	29 May 2008	CN 101183805 A	21 May 2008
				DE 102007054364 A1	29 May 2008
				US 2008136271 A1	12 June 2008
CN	203352307	U	18 December 2013	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02K3/24 H02K5/08 H02K9/197 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H02K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP H10 271738 A (SHIBAURA ENG WORKS LTD) 9. Oktober 1998 (1998-10-09)	1-6, 10-21, 26-36
Y	Zusammenfassung; Abbildungen 5-7,8,4a	7-9, 22-25
Y	----- DE 10 2014 219724 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 31. März 2016 (2016-03-31) Abbildung 2b	7
Y	----- DE 10 2006 008423 A1 (WILO AG [DE]) 30. August 2007 (2007-08-30) Abbildung 4	8,9
Y	----- DE 10 2007 054364 A1 (GM GLOBAL TECH OPERATIONS INC [US]) 29. Mai 2008 (2008-05-29) Abbildung 4	22,23
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
6. Februar 2019		15/02/2019
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  Türk, Severin

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	CN 203 352 307 U (CAO YUXUAN) 18. Dezember 2013 (2013-12-18) Zusammenfassung; Abbildung 4 -----	24,25



**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/081559

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP H10271738 A	09-10-1998	KEINE	
-----			
DE 102014219724 A1	31-03-2016	CN 106716794 A	24-05-2017
		DE 102014219724 A1	31-03-2016
		EP 3202018 A1	09-08-2017
		WO 2016050387 A1	07-04-2016
-----			
DE 102006008423 A1	30-08-2007	CN 101336506 A	31-12-2008
		DE 102006008423 A1	30-08-2007
		EP 1987579 A1	05-11-2008
		US 2009022610 A1	22-01-2009
		WO 2007095982 A1	30-08-2007
-----			
DE 102007054364 A1	29-05-2008	CN 101183805 A	21-05-2008
		DE 102007054364 A1	29-05-2008
		US 2008136271 A1	12-06-2008
-----			
CN 203352307 U	18-12-2013	KEINE	
-----			