



(10) **DE 10 2018 102 740 A1** 2019.08.08

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 102 740.0**

(22) Anmeldetag: **07.02.2018**

(43) Offenlegungstag: **08.08.2019**

(51) Int Cl.: **H02K 1/02 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**LSP Innovative Automotive Systems GmbH,
85774 Unterföhring, DE**

(74) Vertreter:

**Lenzing Gerber Stute Partnerschaftsgesellschaft
von Patentanwälten m. b. B., 40212 Düsseldorf,
DE**

(72) Erfinder:

**Leiber, Thomas, Dr., Rogoznica, HR; Keller,
Jochen, Dr., 80469 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

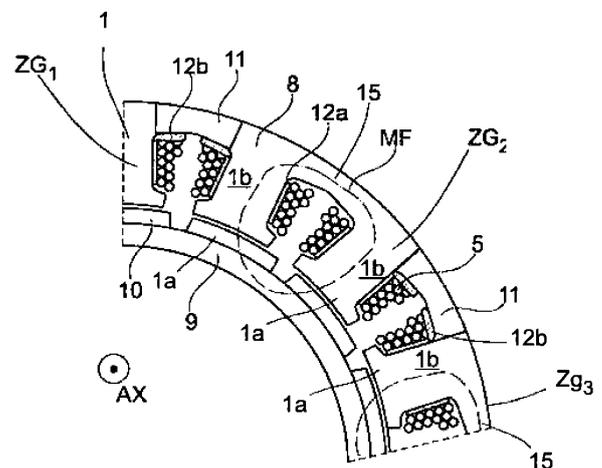
DE	10 2009 057 446	A1
US	2004 / 0 021 395	A1
US	2012 / 0 001 515	A1
EP	2 179 488	B1
WO	2010 / 099 974	A2
WO	2010 / 099 975	A2

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Außenstator für eine Drehfeldmaschine (E-Motor) mit einem Innenrotor, mit Statorzahngruppen, welche jeweils zwei zueinander benachbarte Statorzähne aufweisen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Außenstator (S) einer Drehfeldmaschine mit Innenläufer, welcher als Innenstator oder Außenstator ausgebildet ist und welcher eine Anzahl von N Statorzähnen (1) aufweist, die zusammen eine Anzahl von N/2 Zahngruppen (ZGi=1...N/2) bilden, und jeder Statorzahn (1) jeweils einen Polkern (1b) und einen daran angeformten Polschuh (1a) aufweist, wobei die Polkerne (1b) aus einem ersten Material (MA1) gefertigt sind, und dass jeweils eine Zahngruppe (ZGi) von zwei unmittelbar benachbart angeordneten Statorzähnen (1) gebildet ist, die zusammen mit einem magnetischen Rückschlussmittel (15, 25, 35) Bestandteil eines Magnetkreises (MFi) sind, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen zwei benachbarten Statorzähnen (1) zweier benachbarter Zahngruppen (ZG) jeweils mindestens ein Zwischenelement (11, 21, 31), welches sich insbesondere in axialer Richtung des Stators (1) erstreckt, angeordnet ist, welches aus einem zweiten Material (MA2) gefertigt ist, und dass sich vom ersten Material (MA1) der Polkerne (1b) unterscheidet.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Außenstator einer Drehfeldmaschine mit einem Innenrotor und einer Anzahl von N Statorzähnen, die zusammen eine Anzahl von N/2 Zahngruppen bilden, und jeder Statorzahn jeweils einen Polkern und einen daran angeformten Polschuh aufweist, wobei die Polkerne aus einem ersten Material gefertigt sind, und dass jeweils eine Zahngruppe von zwei unmittelbar benachbart angeordneten Statorzähnen gebildet ist, die zusammen mit einem magnetischen Rückschlussmittel Bestandteil eines Magnetkreises sind.

Stand der Technik:

[0002] Bekannte Drehfeldmaschinen bzw. Elektromotoren sind in der Regel als permanenterregte Innen- oder Außenläufermotoren ausgeführt. Diese werden zunehmend als elektrischer Antriebsmotor von Zweiradfahrzeugen, Personenkraftwagen (PKW), Lastkraftwagen (LKW), sowie in mittels Propeller angetriebenen Antriebssystemen im maritimen Bereich und der Luftfahrt eingesetzt. Effizienz ist insbesondere bei mittels Batterien bzw. Li-Ionen-Batterie angetriebenen Fahrzeugen, Schiffen und auch neuerdings Elektroflugzeuge die primäre Auslegungsgröße, da durch die Effizienz die Größe der Batterie und somit die Gesamtkosten primär bestimmt werden. In der Gesamtbetrachtung sind jedoch auch die Kosten des E-Motors zu beachten, wodurch ein kosteneffizienter Einsatz von verschiedensten Materialien notwendig und relevant ist. Im Luftfahrtbereich, insbesondere bei elektrisch angetriebenen Flugzeugen ist neben der Effizienz zudem die Leistungsdichte zu beachten, weshalb der Einsatz von Permanentmagneten im Allgemeinen bevorzugt wird.

[0003] Um eine hohe Effizienz und Leistungsdichte zu erreichen, werden neben dem Einsatz von Permanentmagneten diverse Maßnahmen zur Reduzierung der Verluste vorgenommen. Unterschieden werden Kupferverluste in den Spulen, die Eisenverluste in allen eisenhaltigen und magnetkreisrelevanten Motorkomponenten und die Reibungsverluste in den Lagern.

[0004] Um Kupferverluste zu reduzieren, wird die Einzelzahn- sowie Wickelung von Einzelzähnen bzw. Doppelzähnen favorisiert. Mit der Einzelzahnwickeltechnik kann die Erregerspule präzise gewickelt werden, wodurch der Kupferfüllgrad bei Elektromotoren erhöht wird. Bei Außenläufern wird neben Einzelzahn- sowie Wickeltechnik auch Biegestator, wie in EP 2179488 B1 beschrieben, eingesetzt.

[0005] Um Eisenverluste zu reduzieren, werden geblechte Statoren mit geringer Blechdicke, insbesondere Si-Fe-Bleche mit Blechdicken $\leq 0,3$ mm so-

wie geblechte Rotoren bzw. optional zur Reduzierung der Wirbelstromverluste auch gestückelte Permanentmagnete eingesetzt. Zudem werden zunehmend Materialien mit hoher Temperaturbeständigkeit, insbesondere Permanentmagnete mit hoher Remanenz und gleichzeitig hoher Koerzitivfeldstärke H_{CJ} eingesetzt. Diese hohe Temperaturbeständigkeit führt zu sehr hohen Kosten, da z.B. derartige Permanentmagnete einen hohen Dysprosium-Anteil aufweisen. Zudem sind Statorbleche mit sehr geringen Verlusten (Blechdicke 0,1-0,2 mm) oder hohem Sättigungsgrad (z.B. Co-Eisen-Bleche) sehr teuer.

[0006] In WO 2010/099974 ist zum Beispiel ein Doppelrotor mit einer sehr aufwändigen Wasserkühlung realisiert. Die Kühlkanäle werden in einem Duroplast-Spritzgießprozess realisiert und verlaufen zwischen den Erregerspulen vom Gehäuse zum Wickelkopf und am Wickelkopf umgelenkt. Eine derartige Kühlung ist extrem kostenintensiv und zudem nicht optimal, da Wickelraum für Kupferspulen verloren geht.

[0007] Ein anderer Ansatz zur Wärmeleitung ist in WO2010/099975 realisiert. Bei diesem Doppelrotor wird der Stator mit einem Duroplastmaterial mit guten Wärmeleiteigenschaften umspritzt. Gleichzeitig muss bei der Auswahl des Duroplastmaterials Wert auf Steifigkeit gelegt werden, da die Umspritzung des Stators im wesentlichen zur Stabilität des freitragenden Stators im Betrieb beiträgt. Weiter ist in WO2010/099975 offenbart, dass durch den Verguss und der guten Wärmeleiteigenschaften des Duroplastmaterials der Wärmeübergang vom Wickelkopf der Erregerspulen zum Gehäuse verbessert werden kann.

[0008] Die in WO2010/099975 offenbarte Lösung hat jedoch einige Schwächen. Zum einen muss beim Duroplast-Spritzguss primär die Festigkeit beachtet werden und somit kann bei der Auswahl des Materials nicht ausschließlich auf die Wärmeleiteigenschaften Wert gelegt werden. Zudem ist das Verfahren mit einem Material mit zugleich hoher Festigkeit und hoher Wärmeleitfähigkeit sehr kostenintensiv, da der komplette Stator erst im Duroplastvergussverfahren seine finale Stabilität und Wärmeleitfähigkeit erhält. Die Statorzähne müssen während des Gussverfahrens sehr solide fixiert werden, da beim Duroplast-Spritzguss mit hohen Einspritzdrücken gearbeitet wird. Zudem ist ein hoher Materialeinsatz mit sehr teuren Füllstoffen (Wärmeleiter z.B. Bor-Nitrid, Festigkeitsverbessernde Materialien wie z.B. Kohlefaser oder Glasfaser) erforderlich. Zuletzt erlaubt das Konzept des Doppelrotormotors eine Wärmeleitung prinzipbedingt nur in eine Richtung.

[0009] Gängige Optimierungsmethoden der Isolierung des Statorzahnes sind der Einsatz von Statorzahnendstücken aus Kunststoff sowie die Isolation des Mittelbereichs durch eine dünne Kapton-Folie

mit akzeptablem Leitwert (0,12-0,3 W/mK) und ausreichender Durchschlagfestigkeit > 2 kV. Durch die Dünnwandigkeit der Kapton-Folie kann jedoch über diesen Wärmepfad mehr Wärme übertragen werden. Durch die dünne Folie wird die Wärmestrecke von Erregerspule zum Stator hin reduziert sowie der Kupferfüllgrad erhöht, da die dünnwandige Kapton-Folie mehr Raum für die Kupferspulen im Wickelfenster zulässt. Diese Isolationstechnik wird jedoch in erster Linie eingesetzt, um den Kupferfüllgrad der Elektromotoren zu verbessern. Eine verbesserte Kühlleistung resultiert daraus nicht, da üblicherweise die Spule nicht an der Kapton-Folie anliegt und somit sich ein gewisser Luftspalt zwischen der heißen Spule und der wärmeabführenden Kapton-Folie und der Erregerspule befindet, was bedingt ist durch die fehlende Präzision in der Wickeltechnik.

Aufgabe der Erfindung

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, im Sinne der Dauerleistungssteigerung von Drehfeldmaschinen mit Innenrotor die Wärmeabfuhr von den Wicklungen über den Statorzahn bzw. Außenstator zu verbessern und das Gewicht des Außenstators zu reduzieren.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäße mit einem Außenstator nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 dadurch gelöst, indem zwischen zwei benachbarten Statorzähnen zweier benachbarter Zahngruppen jeweils mindestens ein Zwischenelement, welches sich insbesondere in axialer Richtung des Stators erstreckt, angeordnet ist, welches aus einem zweiten Material gefertigt ist, und dass sich vom ersten Material der Polkerne unterscheidet.

[0012] Die Erfindung offenbart somit erstmalig einen Stator, welcher $N/2$ Zahngruppen aufweist, die durch Zwischenelemente beabstandet bzw. verbunden sind, wodurch das Gewicht des Stators reduziert wird. Zudem wird vorzugsweise die Leistung des Motors durch eine effiziente Wärmeableitung u.a. über die Zwischenelemente zwischen den Zahngruppen verbessert und somit die Dauerleistung erheblich gesteigert.

[0013] Hierdurch ist es vorteilhaft möglich, Bereiche des Außenstators, die für den Magnetfluss keine oder keine große Bedeutung haben, für die Wärmeleitung oder zur Gewichtsreduzierung zu nutzen, in dem in diesen Bereichen Materialien verwendet werden, die gute Wärmeleiteigenschaften und/oder eine geringere Dichte als das Material der Polkerne aufweisen. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, in diesen Bereichen z.B. eine Fluidkühlung oder Heatpipes anzuordnen.

[0014] Die Zahngruppen bilden jeweils mit ihren beiden Statorzähnen U-förmige Joche mit jeweils min-

destens einer vorzugsweise zwei Erregerspulen je Zahngruppe. Zur Verbindung der Zahngruppen bzw. der U-förmigen Joche werden jeweils die Zwischenelemente verwendet, welche aus einem zweiten Material gefertigt sind, das eine Dichte ρ_2 hat, die mindestens um den Faktor zwei kleiner ist als die Dichte ρ_1 des ersten Materials aus dem die Polkerne gefertigt sind. Mit dem Zwischenelement können zwei unterschiedliche Optimierungsrichtungen verfolgt werden

[0015] In einer ersten Optimierungsrichtung soll die Leistung bzw. das max. Drehmoment durch bessere Wärmeleitung im Stator und geringeres Gewicht des Stators optimiert werden. Dabei kann das zweite Material eine Wärmeleitfähigkeit λ_2 von größer als Eisen (80 W/mK) mit mindestens 150 W/mK (z.B. Wärmeleitwert von Magnesium), insbesondere größer 200 W/mK (Wärmeleitwert von Aluminium), aufweisen. Es ist somit vorteilhaft aus Aluminium oder Magnesium oder eine Legierung von diesen Materialien hergestellt.

[0016] Aufgrund der Maximalgrenze des Betriebes bestimmter Werkstoffe wie z.B. Kupferspulen mit einer typischen Maximaltemperatur von 180°C , ist die maximale Dauerleistung eines Elektromotors durch die Temperatur der Wärmesenke und der Temperaturdifferenz in der Erregerspule begrenzt. Wird der thermische Leitwert zwischen Spule und Wärmesenke halbiert, führt dies zu einer Leistungssteigerung um ca. Faktor 1,5-2. Daher ist die effiziente Wärmeabfuhr von derart besonderer Bedeutung.

[0017] Eine weitere Optimierung kann durch axiale Wärmeleitung erreicht werden, indem die Wärme nicht nur radial zum Gehäuse geführt wird, sondern auch axial zu mindestens einer Stirnseite des E-Motors geführt wird. Um diese Wärmeleitung zu optimieren, ist der Einsatz von Wasserkühlung oder Heatpipes sinnvoll. Damit kann die axiale Wärmeleitung durch Wasserkühlung bzw. Heat-pipes um Faktor **10** (Wasser) bis über Faktor **100** (Heat-Pipes) weiter verbessert werden. Diese axiale Wärmeleitung ist auch bei Innenläufermotoren in bestimmten Anwendungsfällen sehr wichtig, wenn ein langes Gehäuse, das über den Stator hinausragt zur Kühlung verwendet wird.

[0018] In einer zweiten Optimierungsrichtung wird der Schwerpunkt auf Gewichtsminimierung gelegt. In diesem Fall weist das zweite Material eine Dichte ρ_2 auf, die mindestens um den Faktor drei, bevorzugt um den Faktor 5 kleiner ist als die Dichte ρ_1 des ersten Materials und/oder eine Wärmeleitfähigkeit $\lambda > 5$ W/mK aufweist. Entsprechende Materialien wären Aluminiumoxid-Keramiken, Aluminiumnitrid-Keramiken oder Silizium-Carbid bzw. Bor-Nitrid. Auch kann das zweite Material ein nicht ferromagnetisches Material sein. So ist es möglich, als zweites

Material einen Leichtwerkstoff, z.B. Kunststoff, zur Gewichtsoptimierung des Stators zu verwenden

[0019] Die beiden Statorzähne einer Zahngruppe sind dabei über das magnetische Rückschlussmittel zur Bildung des Magnetkreises verbunden. Dabei ist das magnetische Rückschlussmittel an die dem Polschuh abgewandten Enden der Polkerne der zu einer Zahngruppe gehörenden Statorzähne angeformt. Die beiden Statorzähne und das magnetische Rückschlussmittel bilden dadurch ein U-förmiges Joch.

[0020] Für alle beschriebenen möglichen Ausführungsformen gilt, dass im und/oder am Zwischenelement mindestens ein Wärmeleitmittel, insbesondere in Form eines Wasserkanals einer Wasserkühlung oder Heat-Pipe, angeordnet sein kann, welches sich in axialer Richtung des Stators erstreckt und u.a. zum Abtransport von Wärme in axialer Richtung dient. Dabei können diese Wärmeleitmittel in jedem oder auch nur in einigen Zwischenelementen vorgesehen sein.

[0021] Zur radialen Wärmeabfuhr von der Erregerspule, bei einem Innenläufer radial nach außen hin zum wärmeabführenden Zwischenelement, kann ein sich in axialer Richtung des Stators erstreckender, insbesondere plattenförmiger, Kühlkörper mit einer Wärmeleitfähigkeit von größer 1 W/mK, vorzugsweise größer 2 W/mK vorgesehen sein, der zwischen Erregerspule und Statorzahn angeordnet ist.

[0022] Die Zwischenelemente dienen zur mechanischen Verbindung der Zahngruppen. Dabei können die Zwischenelemente z.B. an die Zahngruppen angeklebt oder geschweißt sein. Es ist jedoch ebenso möglich, dass die Zwischenelemente mittels Formschluss, z.B. entsprechende Nut-Feder-Verbindungen, miteinander verbunden sind bzw. die Zwischenelemente **11** oder die U-Joche in einem rohrförmigen Gehäuseteil verankert sind. Die U-Joche oder die Zwischenelemente können in das Gehäuserohr eingelegt und/oder axial in das Gehäuserohr eingeschoben werden.

[0023] Sofern der Raum zwischen den Wicklungen in den Wicklungsnuten mittels einer zusätzlichen Vergussmasse vergossen ist, sollte diese vorteilhaft eine Wärmeleitfähigkeit von mindestens 0,25 W/mK aufweisen und keine Lufteinschlüsse mehr zwischen den Spulendrähten der Wicklungen mehr vorhanden sein. Hierdurch wird die Wärmeabfuhr insbesondere zwischen den Spulenlagen der Erregerspule bedeutend verbessert.

[0024] Zur Optimierung des Kupferfüllgrades können benachbarte Statorzähne verschiedene gewickelte Erregerspulen tragen, wobei die Spulen insbesondere derart geometrisch geformt sind, dass sie sich beim Aufschieben auf die Statorzähne und/oder im auf die Statorzähne aufgeschobenen Zustand

nicht berühren. Um diese zu realisieren, sind die Polschuhe vom Polkern getrennt und werden nach dem Aufschieben der Erregerspulen auf den Polkern aufgesetzt und mit dem Kern über Formschluss oder eine Klebeverbindung verbunden. Eine Klebeverbindung reicht dann aus, wenn der Stator nach der Bewicklung vergossen wird und der Verguss den Polschuh zusätzlich fixiert.

[0025] Vorzugsweise sind Nachbarspulen einer Zahngruppe im Sinne der Optimierung des Kupferfüllgrades mit unterschiedlichen geometrischen Formen, z.B. keilförmige vs. parallele Wickelform oder als n-lagig und (n+x)-lagige Erregerspulen ausgeführt. Dabei werden die Spulen entsprechend der Wickelform nacheinander auf den einen Stator ohne Polschuhe aufgeschoben, wobei zuerst die Erregerspule mit (n+x)-Lagen auf jeden zweiten Statorzahn **1b** aufgeschoben und dann die Erregerspulen mit (n)-Lagen auf jeden zweiten benachbarten Jochzahn aufgeschoben werden, so dass sich die Erregerspulen beim Aufschieben nicht berühren. Zudem ist der Statorzahn **1b** vor dem Aufschieben bereits mit einer Isolation, wie in **Fig. 4** bis **Fig. 7** dargestellt und beschrieben, versehen. Somit hat jede Zahngruppe **ZG_i** jeweils zwei Zähne mit jeweils unterschiedlichen Spulen mit n bzw. n+x-Lagen. Um Ausgleichsströme zu verhindern, sind diese Spulen zudem vorzugsweise in Reihe miteinander elektrisch verschaltet.

[0026] Die vorherigen Ausführungsformen mit optimierter radialer und axialer Stator Kühlung können bei der Optimierung eines Innenläufermotors mit integrierter Elektronik besonders effektiv eingesetzt werden, wobei zusätzlich eine Kühlung des Wickelkopfes der Erregerspulen eine sinnvolle Ergänzung ist.

[0027] Die Wickelkopf Kühlung wird dadurch realisiert, dass die Erregerspulen nur mit einem geringen Abstand zu einem Wärmeleiter angeordnet sind, vorzugsweise in diesem Bereich vergossen sind und mit einem gut leitenden Isolator (z.B. Bor-Nitrid) angeedrückt werden. Zusätzlich wird Wärme über die Zwischenelemente des Stators axial in den Wärmeleiter abgeführt. Somit wird der Innenläufermotor über mehrere parallele Pfade mit sehr guter Wärmeleitung (radiale Kühlung des Stators, axiale Kühlung über Zwischenelemente, Wickelkopf Kühlung) gekühlt. Somit kann eine Umströmung der Oberfläche des Gehäuses des Innenläufermotors durch Luft oder Wasser besonders effektiv genutzt werden, weil eine sehr große Länge zur Kühlung zur Verfügung steht. Zusätzlich kann eine thermisch isolierte Elektronik axial mit dem Motor integriert werden, deren Leistungshalbleiter ebenfalls über den Luft- bzw. Wasserstrom gekühlt werden und nicht bzw. nur gering durch die Verlustleistung des Motors belastet sind.

[0028] Durch effektiven Einsatz der Kühlung und die spezielle Ausgestaltung des Rotors sowie dessen

Lagerung, kann ein Innenläufermotor mit nicht sehr hohem Drehmomentdichte bzw. geringem Drehmomentgewicht (Nm/kg) sowie Leistungsdichte (kW/kg) realisiert werden.

[0029] Bei allen vorbeschriebenen Ausführungsformen ist es möglich, dass der Stator zudem derart ausgebildet sein kann, dass die Statorzähne, insbesondere deren Polkerne, von einer elektrischen Isolierung ganz oder bereichsweise bedeckt oder ummantelt sind, die zur elektrischen Isolation der Wicklung gegenüber dem Statorzahn dient, wobei die elektrische Isolierung ein- oder mehrteilig ausgebildet sein kann, und mindestens ein Teil oder Bereich der Isolierung oder die gesamte Isolierung aus einem Material mit einer Wärmeleiteigenschaft von größer 1 W/mK, bevorzugt größer 2,5 W/mK, gebildet ist. Dabei kann die elektrische Isolierung zwei jeweils eine Stirnseite des Statorzahns umgreifende Isolierkörper aufweisen, die insbesondere an ihrer der Wicklung der Erregerspule zugewandten Seite Rillen für die Spulendrähte der Wicklung aufweisen. Ebenso ist es möglich, dass an mindestens einer Längsseite des Polkerns und/oder des Polschuhs mindestens ein, insbesondere festes und formstabiles, Wärmeleitelement, insbesondere in Form einer Platte anliegt, welches zwischen zwei jeweils eine Stirnseite umgreifenden Isolierkörpern, insbesondere in Ausnehmungen der Isolierkörper, angeordnet ist, wobei zumindest ein Wärmeleitelement eine Wärmeleitfähigkeit von größer 5 W/mK, bevorzugt größer 10 W/mK, besonders bevorzugt größer 20 W/mK, aufweist, insbesondere auf Keramik- oder Siliziumcarbidgebasis oder aus Bor-Nitrid-Verbundwerkstoffen gefertigt ist und/oder das Wärmeleitelement eine Wärmeleitfähigkeit aufweist, die mindestens Faktor zwei, vorzugsweise größer Faktor fünf als die der Isolierkörper ist. Auch kann das Wärmeleitelement unmittelbar an einem Teil oder der ganzen Seitenfläche des Polkerns und/oder dem Polschuh anliegen und aus Keramik oder auf Keramikbasis gefertigt sein und sowohl elektrisch isolierende Eigenschaften sowie eine thermische Leitfähigkeit >10 W/mK haben, besonders bevorzugt eine Aluminiumoxid- oder -nitridkeramik sein oder aus Siliziumcarbid bzw. Bor-Nitrid gefertigt sein. Hierbei ist es ebenso möglich, dass die elektrische Isolierung oder zumindest ein Isolierkörper mittels Umspritzen des Statorzahns, insbesondere durch Umspritzen mindestens des Polkerns gebildet ist, wobei das Vergussmaterial ein Thermoplast oder ein Duroplast ist, und wobei das Duroplast insbesondere eine Wärmeleitfähigkeit von größer 1 W/mK, bevorzugt größer 5 W/mK, hat. Dabei kann die durch Umspritzen gebildete elektrische Isolierung (**200**) mindestens eine fensterartige Aussparung oder eine Ausnehmung mit dünnwandigem Bereich zur insbesondere formschlüssigen Aufnahme mindestens eines Wärmeleitelementes aufweisen, wobei das Wärmeleitelement seitlich am Polkern angeordnet ist, insbesondere an diesem anliegt

und eine Wärmeleitfähigkeit von größer 5 W/mK aufweist, insbesondere aus Bor-Nitrid gefertigt ist.

[0030] Bei allen vorbeschriebenen möglichen Ausführungsformen ist es von Vorteil, wenn der magnetische Widerstand zwischen den Polkernen zweier zu einer Zahngruppe gehörenden Statorzähne kleiner ist als zwischen den Polkernen zweier benachbarter, zu unterschiedlichen Zahngruppen gehörender Statorzähne

[0031] Nachfolgend werden möglichen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Stators anhand von Zeichnungen näher erläutert.

[0032] Es zeigen:

Fig. 1a: Einen Teil des Querschnitts durch einen erfindungsgemäßen Stator eines Innenläufers gemäß einer möglichen Ausführungsform;

Fig. 1b: Stator gem. **Fig. 1a** mit Gehäuserohr sowie eingezeichneter Wärmeabfuhrichtung;

Fig. 2: Stator gem. **Fig. 1a** mit zusätzlichen Wärmeleitmitteln im Zwischenelement;

Fig. 2a Stator gem. **Fig. 2** mit getrennten Polschuhen und ungleichmäßig bewickelten Nachbarspulen;

Fig. 3: eine mögliche Ausgestaltung einer Drehfeldmaschine mit erfindungsgemäßem Außenstator;

Fig. 4a: perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Statorzahns mit zwei stirnseitigen Isolierkörpern und axial dazwischen angeordnetem Wärmeleitelement;

Fig. 4b: eine Querschnittsdarstellung durch den Statorzahn gem. **Fig. 2a** im Bereich eines Isolierkörpers;

Fig. 4c und **Fig. 4d:** Seitenansichten auf den Isolierkörper;

Fig. 4e: Seitenansicht und Querschnittsdarstellung durch ein Wärmeleitelement;

Fig. 5: Statorzahn wie in **Fig. 1b**, wobei jedoch die stirnseitigen Isolierkörper über die gesamte axiale Länge des Statorzahns mit möglichst kleiner Trennfuge bedecken und zusammen jeweils eine fensterartige Ausnehmung für die Aufnahme eines Wärmeleitelementes an mindestens einer Polkernlängsseite bilden.

Fig. 6: erfindungsgemäßer Statorzahn mit einer umspritzten Isolierung, welche an jeder Polkernlängsseite zwei Ausnehmungen zur Aufnahme von jeweils einem Wärmeleitelement bildet;

Fig. 7: erfindungsgemäßer Statorzahn mit einer umspritzten Isolierung aus einem Duroplast mit einem Material mit guter Wärmeleitfähigkeit.

[0033] Die **Fig. 1a** zeigt einen Teil des Querschnitts durch einen erfindungsgemäßen Stator (S) eines Innenläufers gemäß einer möglichen Ausführungsform, wobei in **Fig. 1b** mittels Pfeilen die Wärmeflussrichtungen angezeigt sind.

[0034] Die **Fig. 1a** zeigt die spezielle Ausgestaltung eines Außenjochstators **S** aus Statorzähnen **1**, wobei jeweils zwei benachbarte Statorzähne **1** jeweils eine Zahngruppe **ZG_i** bilden. Ein Zahngruppe **ZG** ist dabei im Querschnitt im Wesentlichen U-förmig, wobei die einzelnen Zahngruppen **ZG_i** mittels Zwischenelemente **11** auf Abstand bzw. zueinander in Position gehalten und/oder miteinander verbunden sein können bzw. sind.

[0035] Die Zwischenelemente **11** haben die Aufgabe, die Kühlleistung zu erhöhen und sind somit vorteilhafterweise aus einem Material mit gutem thermischen Leitwert. Ist das Zwischenelement **11** aus einem elektrisch leitfähigen Material, so muss es hin zur Spule **5** noch separat isoliert werden, was z.B. mittels des Elementes **12b** erfolgen kann.

[0036] Durch das Zwischenelement **11** kann zudem das Gewicht reduziert werden, indem ein Leichtmetall (Aluminium, Magnesium) oder Kunststoff mit vorzugsweise guten Wärmeleiteigenschaften eingesetzt wird. Auch kann die Wärmeleitung direkt von der Spule **5** radial hin zum Zwischenelement **11** erfolgen, sofern das Element **12b** eine gute thermische Leitfähigkeit, d.h. eine Wärmeleitfähigkeit von mit mindestens 1 W/mK, vorzugsweise >2,5 W/mK aufweist. Vorteil dieser Zwischenelemente **11** ist, dass hier ein Material mit wesentlich günstigeren thermischen Leitwerten eingesetzt werden kann, als das sich im Standardfall dort befindliche Statorblech. Es ergeben sich somit weitere parallele Wärmepfade der Verlustquellen der Spule (**S**) und des Stators (**ST**), statt lediglich von Spule **5** hin zum Statorzahn **1** und von dort aus zum Gehäuse der Drehfeldmaschine. Die in der Regel dominanten Verluste der Erregerspule werden somit zum einen in Umfangrichtung zum wärmeleitenden Zwischenelement abgeleitet und dann vom Zwischenelement **11** radial nach außen abgeführt. Somit wird zum einen die Wegstrecke zur Kühlumgebung verkürzt sowie die Übertragungsfläche signifikant erhöht. Die radiale Wärmeleitung macht jedoch nur Sinn, wenn das Zwischenstück aus einem gut wärmeleitenden Material (z.B. Magnesium oder Aluminium) ausgeführt ist, da ein Zwischenelement **11** aus Kunststoff mit einer signifikant geringeren Wärmeleiteigenschaft als der ferromagnetische Zahn nicht zur Wärmeleitung beiträgt.

[0037] Jeder Statorzahn **1** steht dabei aus dem Polkern **1b** und dem angeformten Polschuh **1a**, wobei die Statorzähne **1** einer Zahngruppe **ZG_i** mittels dem magnetischen Rückschlussmittel **15** miteinander verbunden sind. Die Statorzähne **1** einer Zahngruppe

können dabei durch U-förmige Statorbleche gebildet sein. Die Spulen **5** sind mittels geeigneter Isolation **2, 12a** von den Statorzähnen **1** elektrisch isoliert, wobei die Isolation **2** bzw. die Wärmeleitmittel **12a** zum Wärmeabtransport von den Spulen in Richtung Statorzahn **1** dienen können. Die Isolierung und Wärmeleitung wird noch anhand der Figuren 6ff gesondert beschrieben und dargestellt.

[0038] Die Statorzähne **1** und magnetischen Rückschlüsse **15** sind aus einem ersten, insbesondere ferromagnetischen Material **MA1** gefertigt. Die Zwischenelemente **11** sind aus einem zweiten anderen Material **MA2** gefertigt, welches insbesondere leichter und/oder einen besseren Leitwert als das erste Material **MA1** aufweist. Die Statorzähne einer Zahngruppe bilden zusammen mit ihrem magnetischen Rückschlüsselement **15** ein u-förmiges Joch, welche einen Teil des Magnetkreises MF bildet.

[0039] Der Innenrotor **9** ist beispielhaft mit Permanentmagneten **10** bestückt.

[0040] Die **Fig. 1b** zeigt den gleichen Statoraufbau wie in **Fig. 1a**, jedoch sind hier zur Veranschaulichung des Wärmeabtransports Pfeile **S** und **ST** eingezeichnet.

[0041] Zudem ist ein Gehäuserohr **111** dargestellt, in dessen Innenseite sich der Stator befindet. Das Gehäuserohr **111** besitzt vorzugsweise eingelassene Bereiche **111a**, in denen die U-Joche oder alternativ die Zwischenelemente **11** fixiert werden. Die alternative Anordnung der Zwischenelemente **11** im Gehäuse ist in der **Fig. 1** nicht ausgeführt. Diese Gehäusegestaltung mit eingelassenen Bereichen **111a** für die U-Joche **1a, 1b, 15** oder alternativ die Zwischenstücke **11** kann als Montagehilfe verwendet werden, in dem die U-Joche zuerst eingesetzt oder axial eingeschoben werden und danach die Zwischenelemente **11** eingepresst werden. Die Montagereihenfolge kann auch anderes erfolgen.

[0042] Die **Fig. 2** zeigt einen gleichen Aufbau wie **Fig. 1a**, mit dem wesentlichen Unterschied, dass in den Zwischenelementen **11** entweder ein Wasserkühlkreislauf (**WK**) oder Wärmeleitelementen oder Heat-Pipes (**HP**) eingesetzt werden. Die Heat-Pipes **HP** können auch durch sehr gut wärmeleitende Formelemente, z.B. Kupfer- oder Keramikstifte, gebildet sein, mittels derer die Wärmeleiteigenschaften weiter gegenüber dem nicht-ferromagnetischen Grundmaterial der Zwischenelemente verbessert werden. Durch diese Stifte wird insbesondere die axiale Wärmeleitung optimiert, was in der Ausgestaltung eines Innenläufermotors vorteilhaft zur Wärmeaufteilung genutzt werden kann.

[0043] Alternativ kann auch ein Heat-Pipe als ein klassisches Wärmerohr mit einem hermetisch gekap-

selten Volumen, das mit einem Arbeitsmedium (z.B. Wasser oder Ammoniak) gefüllt ist, eingesetzt werden. Durch Heat-Pipes kann die Wärmeabfuhr um mehr als Faktor **100**, insbesondere Faktor **1000** noch weiter verbessert werden, als beim Einsatz von Feststoffstiften wie z.B. Kupfer.

[0044] Die **Fig. 2a** zeigt einen gleichen Aufbau wie **Fig. 2**, mit dem wesentlichen Unterschied, dass die Polschuhe (**1a**) vom Stator (**1b**) getrennt sind und die Nachbarspulen **5a** und **5b** im Sinne der Optimierung des Kupferfüllgrades ungleichmäßig bewickelt sind, z.B. n-lagig und (n+x)-lagige Erregerspulen, und der Stator vergossen ist. In **Fig. 2a** sind die Spulen **5a** vierlagig und die Spulen **5b** dreilagig ausgebildet. Diese Ausführungsform ist daher sinnvoll, um den Kupferfüllgrad zu optimieren, in dem die Spulen entsprechend der Wickelform nacheinander auf den einen Stator ohne Polschuhe aufgeschoben werden können, wobei zuerst die Erregerspule mit (n+x)-Lagen bzw. Keilform auf jeden zweiten Statorzahn **1b** aufgeschoben und dann die Erregerspulen mit (n)-Lagen auf jeden zweiten benachbarten Jochzahn, sodass beim Aufschieben die Erregerspulen nicht berührt werden. Zudem ist der Statorzahn **1b** vor dem Aufschieben bereits mit einer Isolation, wie in **Fig. 4** bis **Fig. 7** dargestellt und beschrieben, versehen. Alternativ kann die Spule auch auf einen Wickelkörper gewickelt sein und mit dem Wickelkörper auf den Zahn geschoben werden.

[0045] Somit hat jede Zahngruppe **ZG**, jeweils 2 Zähne und jeweils unterschiedliche Spulen mit n bzw. (n+x)-Lagen. Um Ausgleichsströme zu verhindern, sind diese Spulen vorzugsweise in Reihe miteinander elektrisch verschaltet. Die Polschuhe werden dann erst nach dem Wickelprozess bzw. dem Aufschieben der Spulen auf den Statorzahn mit dem Stator formschlüssig oder kraftschlüssig verbunden. Für die Verbindungstechnik zwischen Polschuh und Polkern kann auch ein Klebprozess eingesetzt werden, wenn der Stator vergossen ist und der Struktur durch den Verguss zusätzliche Stabilität gibt. Zusätzlich dient der Verguss **V** zur Optimierung der Wärmeabfuhr, da damit Lufteinschlüsse zwischen den Spulenlagen der Erregerspule gefüllt werden.

[0046] Selbstverständlich ist es bei den in den **Fig. 2** und **Fig. 2a** dargestellten Ausführungsformen ebenso möglich, das in **Fig. 1b** gezeigten und beschriebene Gehäuserohr **111** vorzusehen.

[0047] Die **Fig. 3** zeigt eine Drehfeldmaschine mit dem erfindungsgemäßen Außenstator S einer der vorherigen Ausführungsformen der **Fig. 2** oder **Fig. 2a**. Die Rotorwelle **18** ist mittels der Lager **19a** und **19b** an dem Lagerträger **21** gelagert, welcher sich seinerseits an dem Gehäuse **22**, **23** der Drehfeldmaschine abstützt. Der topfförmige Innenrotor **13** ist wiederum an der Rotorwelle **18** drehfest befestigt

und trägt das Blechpaket **14** sowie die Permanentmagnete **10**. Der topfförmige Rotor **13** weist eine zylinderförmige Wandung **13a** auf, welche an die radial erstreckende Bodenwandung **13b** angeformt ist, welche ihrerseits einen Kragen **13c** aufweist, mit dem der Rotor drehfest mit der Welle **18** verbunden ist. Durch diese Gestaltung des Rotors **13** und des Lagerträgers **21** entsteht ein Hohlraum zwischen Rotor und Welle und unterscheidet sich von klassischen Innenläufermotoren, wo der Rotor direkt mit der Welle verbunden ist. Diese Anordnung ist gewählt, um Gewicht des Motors zu minimieren bzw. Drehmomentdichte (Einheit der Drehmomentdichte: Nm/kg) zu maximieren. Dies ist dadurch möglich, da die Wärme, wie in **Fig. 2** und **Fig. 2a** beschrieben, sehr gut aus dem Motor abgeführt wird bzw. der Stator einen hohen Kupferfüllgrad (**Fig. 2a**) aufweist und somit der Stator sehr klein gebaut ist. Dadurch können auch die krafterzeugenden Permanentmagnete auf einem großen Radius angeordnet werden, wodurch das Drehmoment bei einem gegebenen Außendurchmesser maximiert wird. Durch die Kombination von Wärmeabfuhr und großen Kraftwirkradius kann somit eine sehr hohes Dauerdrehmoment, auch bei Einsatz von wenig Kupfer, erzielt werden.

[0048] Der Außenstator S ist mit dem Gehäuserohr **111**, welches in **Fig. 3** nicht dargestellt ist, gut wärmeleitend, z.B. über Pressverbindung, verbunden und axial neben einem Wärmeleitstück **26** angeordnet, welches wiederum am Gehäuse **23** befestigt und gut wärmeleitend mit diesem verbunden ist. Die Wärme wird vom Stator **S** radial über das Gehäuse **23** über den Wärmeleitpfad **A** sowie vom Wärmeleitstück **23b** über den Wärmepfad **E** nach außen geführt. Die von den Erregerspulen **5** erzeugte Wärme wird zudem neben der radialen Wärmeübertragung über die Wärmepfade **WF-B** (Stator Kühlung) und **WF-C** (Wickelkopf Kühlung) axial abgeführt. Dabei erfolgt der Wärmetransport beim Wärmepfad **WF-B** über im Außenstator S angeordnet Wasserkühlkreisläuft WK und/oder über Heat-Pipes **HP**, wie sie in den **Fig. 2** und **Fig. 2a** dargestellt und beschrieben sind.

[0049] Zusätzlich erfolgt eine Wärmeabfuhr über die axiale Stirnseite der Erregerspulen **5** über elektrische isolierende Wärmeleitelemente z.B. aus Bor-Nitrid oder Silizium-Carbid **50**, welche mittels geeigneter Mittel, wie z.B. Federn, Andruckschrauben, etc. gegen die Stirnseite einer, mehrerer oder aller Erregerspulen **5** kraftbeaufschlagt und gedrückt werden und ihrerseits mit dem Statorträger **26** verbunden sind und an diesen die aufgenommene Wärme abgeben, wobei diese den Wärmepfad **WF-C** bilden.

[0050] Der Wärmepfad **WF-B** und **WF-C** führt axial in ein Wärmeleitstück **26**, wobei der Wärmepfad **WF-B** weiter axial in das Wärmeleitstück **26** hineinführt als der Wärmepfad **WF-C**. Damit kann die Wärme der

beiden Wärmepfade gut verteilt werden und eine umströmte Oberfläche des Statorgehäuses **23** effektiver zur Kühlung genutzt werden.

[0051] Auf der anderen Seite des Stators findet vorzugsweise keine Wärmeübertragung zwischen Spule und Gehäuseteil **22** statt, sondern es werden nur die Phasenkontakte einer 3 oder alternativ 6-phasigen Drehfeldmaschine zur Elektronik ECU geführt. Das Gehäuseteil **22** ist daher vorzugsweise schlecht wärmeleitend. Damit wird verhindert, dass die Elektronik ECU durch den E-Motor aufgeheizt wird. Zudem wird das Gehäuseteil **22** derart gestaltet, dass es die Gehäuseteile **23** des Motors und Gehäuseteile **23a** der ECU thermisch isoliert. Somit erhitzt die Motorwärme nur geringfügig die ECU.

[0052] Das Gehäuse (**23**, **23a**) welches z.B. selbst als Kühlkörper ausgebildet ist, kann zusätzlich von kühlender Luft oder Wasser umströmt sein. An der Drehfeldmaschine ist unmittelbar die ECU angeordnet, in deren Gehäuse auch noch der die Drehbewegung der Welle **18** detektierende Sensor **2s** axial versetzt zum Sensortarget **20** sowie Leistungselektronik mit Leistungshalbleiter **27**, Phasenkontakt **27a** und Platine **27b** angeordnet ist. Zudem sind die Leistungshalbleiter der ECU **27** direkt mit der äußeren Innenwand des ECU-Gehäuses **23a** verbunden, so dass die Wärme der Leistungshalbleiter mit einer geringen Wegstrecke radial zur Kühlung geführt wird.

[0053] Durch diese erfinderische Ausgestaltung des Stators sowie axiale ECU-Anordnung ergeben sich mehrere radiale parallel versetzte Wärmepfade **A**, **E** (E-Motor) und **D** (ECU), womit die Wasserkühlung bzw. Luftkühlung des Gehäuses seine maximale Wirksamkeit erreicht und zudem die ECU unabhängig vom Motor optimiert werden, da kein bzw. geringer Erwärmungseinfluss von E-Motor auf ECU wirkt. So kann mit einem geringen Außendurchmesser eine optimale Drehmomentausbeute bei geringem Gewicht erzielt werden.

[0054] Zudem kann das Gewicht des Motors bzw. Power Packs = (E-Motor + ECU) zum einen durch die Leichtbauelemente im Stator sowie den Hohlraum zwischen Rotor **13** und Lagerrohr **21** minimiert werden und die Dauerleistung sowohl des Motors als auch der Elektronik durch minimale Erwärmung durch den Motor maximiert werden.

[0055] Ebenfalls kann der Motor nass oder feucht betrieben werden bzw. Umwelteinflüssen ausgesetzt sein, wenn die Spulen zusätzlich vergossen sind und die Lager abgedichtet sind. Durch entsprechende Gestaltung des ECU-Gehäuses (**23a**, **23b**) kann die ECU ebenfalls gegen Umwelteinflüssen geschützt werden. Ein entsprechender Deckel der ECU mit Abdichtung ist nicht gezeichnet.

[0056] Auch ist es möglich, dass das Gehäuserohr **111** das Gehäuse **23** bildet. Ebenso ist es bei den zuvor beschriebenen Ausführungsformen möglich, dass die Zwischenelemente **11** und das Gehäuserohr **111** einteilig ausgebildet sind, d.h. die Zwischenelemente **11** an dem Gehäuserohr **111** angeformt sind.

[0057] Die **Fig. 4a** zeigt eine mögliche Ausführungsform eines erfindungsgemäßen perspektivisch dargestellten Statorzahns **1**, welcher wie der in **Fig. 1** dargestellte Statorzahn **1** mit Isolierkörpern **2** am Wickelkopf versehen ist, jedoch mit dem Unterschied, dass die herkömmlich verwendete Isolationsfolie **3**, welche typischerweise aus Kapton gefertigt ist, ersetzt worden ist durch ein Wärmeleitelement **4** in Form einer Platte. Das Wärmeleitelement **4** weist eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit und eine hohe elektrische Durchschlagfestigkeit auf. Es kann aus einem Werkstoffe wie z.B. Keramik bzw. Werkstoff auf Keramikbasis gefertigt sein. So ist vorteilhaft an jeder Längsseite **L** des Polkerns **1b** mindestens ein Wärmeleitelement **4** angeordnet, wobei diese(s) möglichst großflächig an dem Polkern **1b** anliegt(en), besonders bevorzugt an der gesamten Längsseite **L** des Polkerns **1b**. Die hierdurch wesentlich erhöhte Wärmeleitfähigkeit in der Nut erlaubt es, den Kühlpfad von der Erregerspule **5** zum Statorzahn **1** signifikant zu verbessern.

[0058] Wie in **Fig. 4b** zu erkennen ist, liegt der Isolierkörper **2** mit seiner Innenseite vollflächig an den Polkern **1b** sowie Bereichen des magnetischen Rückschlusses des Pols, also des Polrückschlusses **1c** und des Polschuhs **1a** an.

[0059] Jeder Isolierkörper weist einen stirnseitigen Bereich **2a** auf, an den sich im Bereich des Übergangs vom Polkern **1b** hin zum Polschuh **1a** ein kragenförmiger Abschnitt **2b** angrenzt. Im Bereich des Übergangs vom Polkern **1b** hin zum Polrückschluss **1c** grenzt ebenfalls ein kragenförmiger Abschnitt **2c** an den mittleren Bereich **2a** an. Der Isolierkörper **2** liegt nicht nur an der Stirnseite **1** des Statorzahns **1** an, sondern greift auch noch seitlich um diesen herum und liegt auch an einem kurzen Abschnitt der Längsseite **L** des Statorzahns insbesondere im Bereich des Polkerns **1b** mit seinem Bereich **2d** an (**Fig. 4c** und **Fig. 4d**). Der Bereich **2d** weist im Bereich des Polkerns **1b** zudem an seiner Außenfläche Rillen für die Führung der ersten Lage der Spulendrähte der Erregerwicklung auf. Der Bereich des Polkerns **1b** bildet zusammen mit dem Polrückschluss **1c** und dem Polschuh **1a** eine Nut **N** zur Aufnahme der Spulendrähte bzw. der Wicklung.

[0060] **Fig. 4e** zeigt eine mögliche Ausführungsform des erfindungsgemäßen Wärmeleitelements **4**, welches als rechteckige Platte mit einer Dicke **D** ausgebildet ist. Die Dicke **D** sollte dabei vorteilhaft dicker ausgestaltet sein als die Dicke der seitlichen Vor-

sprünge **2d** der Isolierteile **2**, damit sichergestellt ist, dass das Wärmeleitelement **4** in unmittelbarem Kontakt mit der inneren Lage der Spulendrähte ist. Das Wärmeleitelement **4** ist aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit ($> 5 \text{ W/mK}$) weist zugleich eine hohe elektrische Isolationsfähigkeit auf. So kann es z.B. aus Bor-Nitrid gefertigt sein.

[0061] Die **Fig. 5** zeigt eine weitere mögliche Optimierungsmöglichkeit des in den **Fig. 4a-e** dargestellten und beschriebenen erfindungsgemäßen Statorzahns. Dabei ist jeweils ein Isolationskörper **2** an den beiden Wickelköpfen des Statorzahns **1** angeordnet, wobei die Isolationskörper **2** neben der Funktion der elektrischen Isolation und der Verbesserung der Spulenwickelbarkeit auch eine Haltevorrichtung für die beidseits des Polkerns **1b** angeordneten Wärmeleitelemente **4** bilden. Das Wärmeleitelement **4** kann dabei das gleiche sein wie in der Ausführungsform gemäß der **Fig. 2a** bis **Fig. 2f**.

[0062] Die **Fig. 6** zeigt eine weitere mögliche Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Statorzahns **1**, bei dem die elektrische Isolierung **200** direkt an den Stator kern **1b** gespritzt ist. Dabei können beim Umspritzvorgang gleichzeitig der obere Kragen **200b** und der untere Kragen **200c** sowie der Nutgrund mit Rillen **200a** zur verbesserten Drahtführung ausgebildet werden. Zudem werden beim Umspritzvorgang mittels mindestens eines Schiebers eine oder mehrere Aussparungen **200e** für anschließend einlegbare Wärmeleitelemente **4a** freigehalten. Alternativ kann nach dem Umspritzen die äußere Kontur **200a** maschinell freigelegt werden.

[0063] Die **Fig. 7** zeigt eine weitere Variante der Statorzahnumspritzung, bei der der Isolationskörper **7**, **7a**, **7b**, **7c**, **7d** im Duroplastverfahren direkt an den Stator kern **1b** gespritzt wird. Das Granulat, welches zur Statorumspritzung verwendet wird, enthält bereits die zu einer optimierten Wärmeleitung benötigten Keramikbeifügungen. Es entsteht somit ein Bauteil, was sowohl hinsichtlich mechanischer und thermischer Stabilität, elektrischem Isolationsgrad und wärmeleitender Wirkung optimiert ist.

[0064] Bei den Ausführungsformen der **Fig. 1a**, **Fig. 1b** und **Fig. 2** werden die isolierenden Wärmeleitelemente **4**, **4a** zwischen Spule und Stator entlang der axialen Erstreckung des Statorzahns angebracht und dienen einem deutlich verbesserten Wärmeübergang zwischen Spule und Stator über annähernd die gesamte axiale Länge des Stators. Im Wickelkopfbereich bzw. Stirnseite S der Statorzähne **1** werden vorzugsweise drahtführende und isolierende Kunststoffstücke in Form von Isolierkörpern **2**, **20** vorgesehen, welche aufgesetzt oder angespritzt sein können. Dabei können die Wärmeleitelemente **4**, **4a** entweder kraftschlüssig durch die Isolierkörper **2**, **20** positioniert oder formschlüssig mit dem Statorzahn ver-

bunden sein, so dass möglichst ein sehr geringer Abstand und eine ausreichende Stabilität realisiert werden.

[0065] Alternativ kann der Statorzahn, wie in **Fig. 6** dargestellt und beschrieben im Thermoplast-Spritzgussverfahren mit einem Standard-Kunststoff umspritzt werden und ein Bereich entlang der Seitenflächen des Polkerns **1b** ausgespart sein, so dass dort in einem nachfolgenden Schritt eine oder mehrere Wärmeleitplatten **4a** bzw. ein Verbundkonzept mit mehreren Wärmeleitelementen eingefügt werden kann.

[0066] Weiterhin kann der Statorzahn, wie in **Fig. 7** dargestellt, komplett im Duroplast-Spritzgussverfahren mit einem wärmeleitenden Material mit hohem spezifischen Leitwert, z.B. Bor-Nitrid Duroplastmaterial umspritzt werden. Verfahrenstechnisch ist dies weit weniger aufwändig als den kompletten Stator zu umspritzen, da die Spritzgussform deutlich einfacher gestaltet werden kann. Auch muss hier nicht auf festigkeitssteigernde Füllstoffe Wert gelegt werden, sondern es kann ausschließlich ein gut wärmeleitender und zugleich isolierender Werkstoff ausgewählt werden.

[0067] Bei allen vorbeschriebenen Ausführungsformen ist es sinnvoll, nach dem Wickelprozess den Stator zu vergießen bzw. zu verträufeln, um Luft einschüsse zwischen den Kupferdrähten und an der spulennahen Statorisolation möglichst vollständig zu vermeiden und somit den thermischen Übergang zwischen Erregerspule und Stator weiter zu optimieren. Als Vergussmaterial kann sinnvollerweise ein Material mit akzeptablen Wärmeleiteigenschaften eingesetzt werden, mit einem spezifischen Leitwert von $0,25 - 1 \text{ W/mK}$. Ein Vergussmaterial mit moderaten Wärmeleiteigenschaften ist immer noch um den Faktor 10 besser als Luft, da Luft einen sehr niedrigen spezifischen Leitwert von lediglich $0,026 \text{ W/mK}$ aufweist. Durch den Einsatz des Vergussmaterials kann der Übergang zwischen den Spulenlagen am Stator und der Isolationsfolie sowie zwischen den Spulenlagen, z.B. erste und zweite Spulenlage, somit deutlich verbessert werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- EP 2179488 B1 [0004]
- WO 2010/099974 [0006]
- WO 2010/099975 [0007, 0008]

Patentansprüche

1. Außenstator (S) einer Drehfeldmaschine mit Innenläufer, welcher eine Anzahl von N Statorzähnen (1) aufweist, die zusammen eine Anzahl von N/2 Zahngruppen ($ZG_{i=1 \dots N/2}$) bilden, und jeder Statorzahn (1) jeweils einen Polkern (1b) und einen daran angeformten Polschuh (1a) aufweist, wobei die Polkerne (1b) aus einem ersten Material (MA1) gefertigt sind, und dass jeweils eine Zahngruppe (ZG_i) von zwei unmittelbar benachbart angeordneten Statorzähnen (1) gebildet ist, die zusammen mit einem magnetischen Rückschlussmittel (15) Bestandteil eines Magnetkreises (MF_i) sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen zwei benachbarten Statorzähnen (1) zweier benachbarter Zahngruppen (ZG) jeweils mindestens ein Zwischenelement (11), welches sich insbesondere in axialer Richtung des Stators (1) erstreckt, angeordnet ist, welches aus einem zweiten Material (MA2) gefertigt ist, und dass sich vom ersten Material (MA1) der Polkerne (1b) unterscheidet.

2. Außenstator (S) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Material (MA2) eine Dichte ρ_2 hat, die mindestens um den Faktor 2 kleiner ist als die Dichte ρ_1 des ersten Materials (MA1), und dass zweite Material (MA2) eine Wärmeleitfähigkeit λ_2 von größer 100 W/mK, insbesondere größer 200 W/mK, aufweist, insbesondere Aluminium oder Magnesium oder eine Legierung davon ist.

3. Außenstator (S) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Material (MA2) eine Dichte ρ_2 hat, die mindestens um den Faktor 3, bevorzugt um den Faktor 5 kleiner ist als die Dichte ρ_1 des ersten Materials (MA1), insbesondere Kunststoff ist, und/oder eine Wärmeleitfähigkeit $\lambda > 5$ W/mK hat und insbesondere Aluminiumoxid- oder -nitridkeramik oder Siliciumcarbid bzw. Bor-Nitrid ist bzw. aufweist.

4. Außenstator (S) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das magnetische Rückschlussmittel (15) an die dem Polschuh (1a) abgewandten Enden (1e) der Polkerne (1b) der zu einer Zahngruppe (ZG_i) gehörenden Statorzähne (1) angeformt ist.

5. Außenstator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen Erregerspule (5) und Statorzahn (1) mindestens ein Wärmeleitelement (12a, 12b) angeordnet ist, welches insbesondere mit dem Zwischenelement (11) in Kontakt ist.

6. Außenstator (S) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wärmeleitmittel (12b) als Formstück ausgeführt ist, so dass eine oder mehrere Spulenlagen der Erregerspulen benachbarter Zähne direkt im Kontakt mit dem Formstück sind bzw. ei-

nen geringen Abstand zu diesem aufweisen und eine thermische Verbindung besteht.

7. Außenstator (S) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wärmeleitmittel (12b), insbesondere zur radialen Wärmeabfuhr von der Erregerspule nach außen zum wärmeabführenden Zwischenelement (11) eine Wärmeleitfähigkeit von größer 5 W/mK ausweist und aus Aluminiumoxid- oder -nitridkeramik oder Siliciumcarbid bzw. Bor-Nitrid hergestellt ist.

8. Außenstator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im oder am Zwischenelement (11) mindestens ein Wärmeleitmittel (WK, HP), insbesondere in Form eines Wasserkanals einer Wasserkühlung (WK) oder Heat-Pipe (HP), angeordnet ist, welches sich in axialer Richtung des Stators (S) erstreckt und zum Abtransport von Wärme in axialer Richtung dient, wobei bei Einsatz eines Heat-Pipes vorzugsweise ein klassisches Wärmerohr mit einem hermetisch gekapselten Volumen, das mit einem Arbeitsmedium (z.B. Wasser oder Ammoniak) gefüllt ist, eingesetzt werden.

9. Außenstator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zwischenelemente (11) zur mechanischen Verbindung der Zahngruppen (ZG_i) dienen.

10. Außenstator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Stator (S) in einem Gehäuserohr (111) angeordnet ist und/oder die Zwischenelemente (11) an dem Gehäuserohr (111) angeformt oder mit diesem verbunden sind.

11. Außenstator (S) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zahngruppen (ZG_i) in Aussparungen (111a) und/oder die Zwischenelemente (11) in Aussparungen des Gehäuserohres (111) einliegen.

12. Außenstator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Raum zwischen den Wicklungen (5) in den Wicklungsnuten (WN) mittels einer zusätzlichen Vergussmasse (F), insbesondere mit einer Wärmeleitfähigkeit von mindestens 0,25 W/mK, vergossen ist, insbesondere derart, dass keine Luft einschließt mehr zwischen den Spulendrähten der Wicklungen (5) mehr vorhanden sind.

13. Außenstator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden Statorzähne (1) einer Zahngruppe (ZG_i) aus einem ferromagnetischen Material sind und zusammen mit dem Rückschlussmittel (15), welches eine magnetische Vorzugsrichtung (MV), insbesondere

re senkrecht zur magnetischen Vorzugsrichtung des Polkerns (1b), aufweist ein u-förmiges Joch bilden.

14. Außenstator (S) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass benachbarte Statorzähne (1) zur Optimierung des Kupferfüllgrades verschiedene gewickelte Spulen (5) tragen, wobei die Spulen (5) insbesondere derart geometrisch geformt sind, dass sie sich beim Aufschieben auf die Statorzähne (1) und/oder im auf die Statorzähne aufgeschobenen Zustand nicht berühren.

15. Außenstator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Statorzahn (1) Längsseiten (L) und Stirnseiten (S) aufweist und von einer elektrischen Isolierung (2, 20, 200) ganz oder bereichsweise bedeckt oder ummantelt ist, die zur elektrischen Isolation der Wicklung (5) gegenüber dem Statorzahn (1) dient, wobei die elektrische Isolierung ein- oder mehrteilig ausgebildet ist, und mindestens ein Teil oder Bereich der Isolierung (2, 20, 200) oder die gesamte Isolierung (2, 20, 200) aus einem Material mit einer Wärmeleiteigenschaft von größer 1 W/mK, bevorzugt größer 2,5 W/mK, gebildet ist.

16. Außenstator nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Isolierung (2, 20) zwei jeweils eine Stirnseite (S) umgreifende Isolierkörper (2, 20) aufweist, die insbesondere an ihrer der Wicklung (5) zugewandten Seite Rillen (R) für die Spulendrähte der Wicklung (5) aufweisen.

17. Außenstator nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass an mindestens einer Längsseite (L) des Polkerns (1b) und/oder Polschuhs (1c) mindestens ein, insbesondere festes und formstabiles, Wärmeleitelement (4), insbesondere in Form einer Platte anliegt.

18. Außenstator nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wärmeleitelement (4) zwischen zwei jeweils eine Stirnseite (S) umgreifenden Isolierkörpern (2, 20), insbesondere in Ausnehmungen (20e) der Isolierkörper (20), angeordnet ist, wobei zumindest ein Wärmeleitelement (4) eine Wärmeleitfähigkeit von größer 5 W/mK, bevorzugt größer 10 W/mK, besonders bevorzugt größer 20 W/mK, aufweist, insbesondere auf Keramik- oder Siliziumcarbidbasis oder aus Bor-Nitrid-Verbundwerkstoffen gefertigt ist und/oder das Wärmeleitelement (4) eine Wärmeleitfähigkeit aufweist, die mindestens Faktor 2, vorzugsweise größer Faktor 5 als die der Isolierkörper (2, 20) ist.

19. Außenstator nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wärmeleitelement (4) unmittelbar an einem Teil oder der ganzen Seitenfläche des Polkerns (1b) anliegt und aus Keramik oder auf Keramikbasis gefertigt ist und sowohl elek-

trisch isolierende Eigenschaften sowie eine thermische Leitfähigkeit >10 W/mK hat, besonders bevorzugt Aluminiumoxid- oder -nitridkeramik oder aus Siliziumcarbid bzw. Bor-Nitrid ist.

20. Außenstator nach einem der Ansprüche 15 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Isolierung (200) oder zumindest ein Isolierkörper (2, 20) mittels Umspritzen des Statorzahns (1), insbesondere durch Umspritzen mindestens des Polkerns (1b) gebildet ist, wobei das Vergussmaterial ein Thermoplast oder ein Duroplast ist, wobei das Duroplast insbesondere eine Wärmeleitfähigkeit von größer 1 W/mK, bevorzugt größer 5 W/mK, hat.

21. Außenstator nach Anspruch 20 **dadurch gekennzeichnet**, dass die durch Umspritzen gebildete elektrische Isolierung (200) mindestens eine fensterartige Aussparung (200e) oder eine Ausnehmung mit dünnwandigem Bereich zur insbesondere form-schlüssigen Aufnahme mindestens eines Wärmeleitelementes (4) aufweist, wobei das Wärmeleitelement (4) seitlich am Polkern (1b) angeordnet ist, insbesondere an diesem anliegt und eine Wärmeleitfähigkeit von größer 5 W/mK aufweist, insbesondere aus Bor-Nitrid gefertigt ist.

22. Außenstator (S) nach einem der Ansprüche 15 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Isolierung und das mindestens eine Wärmeleitelement (4) vor dem Spritzprozess eingelegt und mit umspritzt wird.

23. Drehfeldmaschine mit einem Außenstator (S) nach einem der vorherigen Ansprüche.

24. Drehfeldmaschine nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehfeldmaschine einen topfförmigen Rotor (13) aufweist, welcher an seiner zylindrischen Wandung (13a) außenliegende Permanentmagnete (14) trägt, wobei die Rotorwelle (18) mit dem topfförmigen Rotor (13) drehfest verbunden ist, insbesondere durch die Bodenwandung (13b, 13c) hindurchtritt.

25. Drehfeldmaschine nach Anspruch 23 oder 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass die von den Erregerspulen (5) erzeugte Wärme sowohl in axialer Richtung als auch in radialer Richtung abgeführt wird.

26. Drehfeldmaschine nach einem der Ansprüche 23 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Stator (S) und der ECU ein thermisches Isolationsenteil (22) angeordnet ist.

27. Drehfeldmaschine nach einem der Ansprüche 23 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ECU sowie das den Stator (S) umgebende Gehäuse (23) mittels einer Vergussmasse umschlossen sind und/oder die ECU in einem gesonderten Gehäuse (23a,

24) angeordnet ist, insbesondere in der ECU ein Sensor (2s) zur Detektierung der Bewegung des Sensortargets (20) angeordnet ist.

28. Drehfeldmaschine nach einem der Ansprüche 23 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmeabfuhr vom Stator (S) sowohl in axialer Richtung über einen Kühlkörper (26) erfolgt, welcher radial innenliegend am Gehäuse (23) angeordnet ist und an dieses Wärme ableitet als auch in radialer Richtung (A) durch Anlage des Stators (S) an dem Gehäuse (23).

29. Drehfeldmaschine nach einem der Ansprüche 23 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leistungselektronik (27) der ECU ihre Wärme an das Gehäuse (23, 23a) der Drehfeldmaschine bzw. das Gehäuse (23a) der ECU abgibt.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

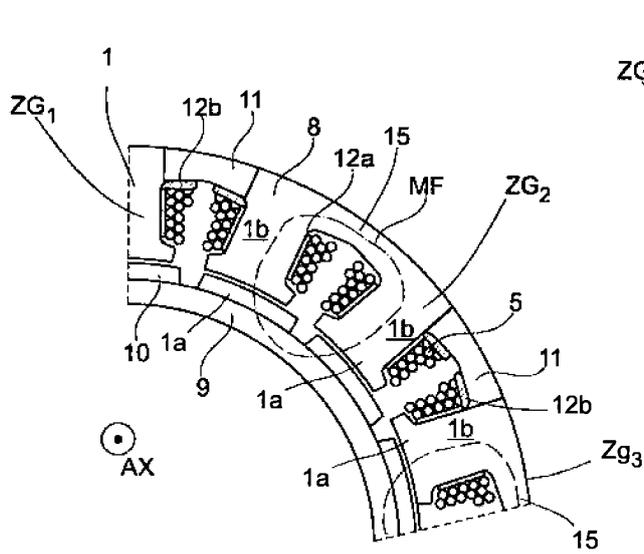
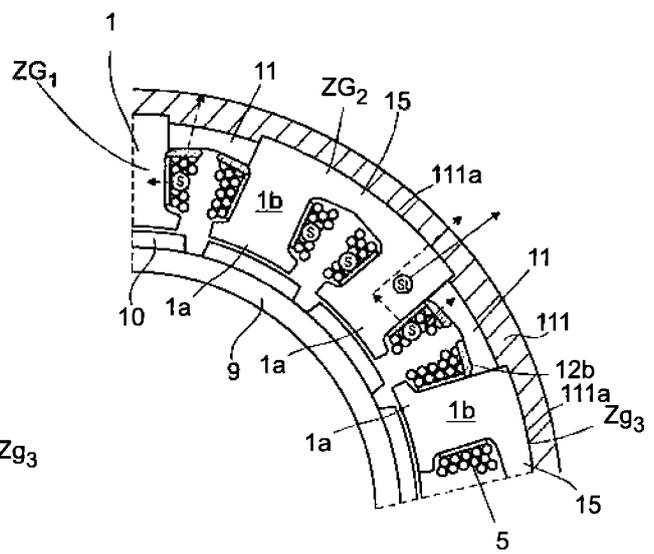


Fig. 1a



S: Verlustquelle Erregerspule
St: Verlustquelle Statorblech

Fig. 1b

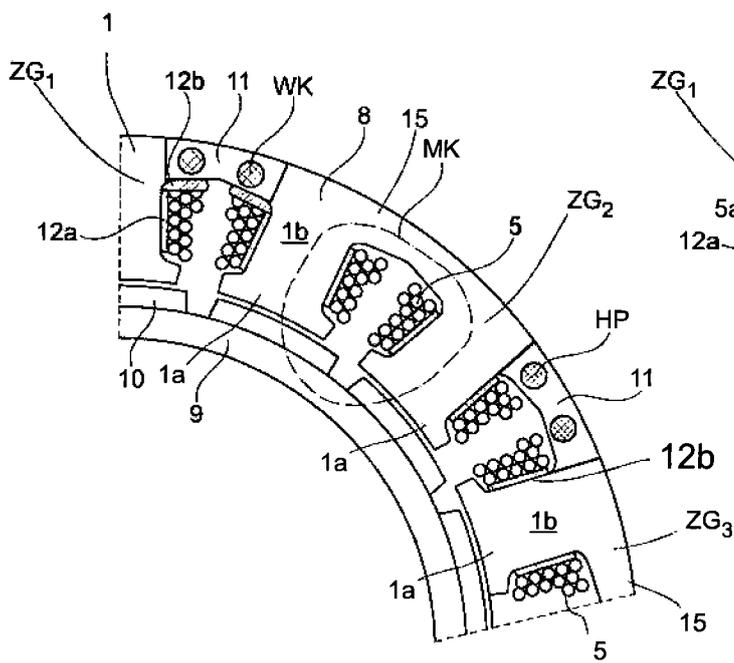


Fig. 2

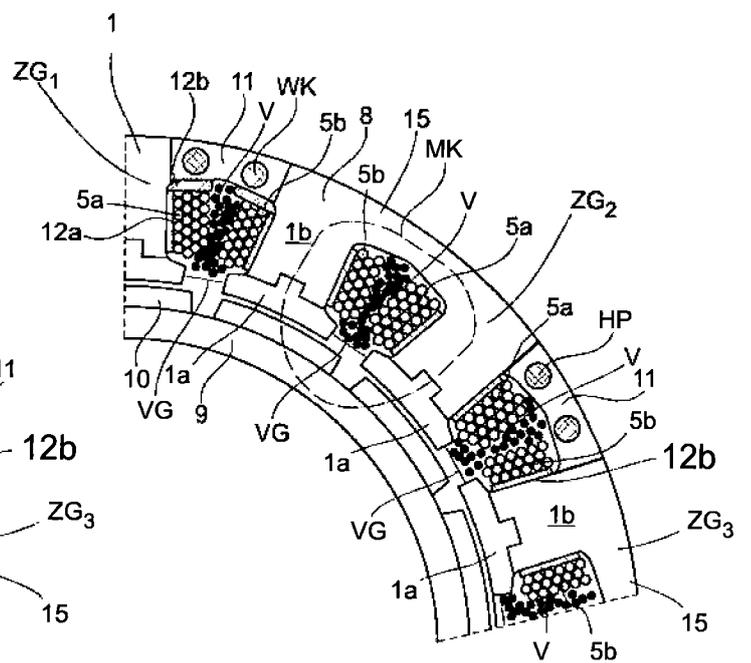


Fig. 2a

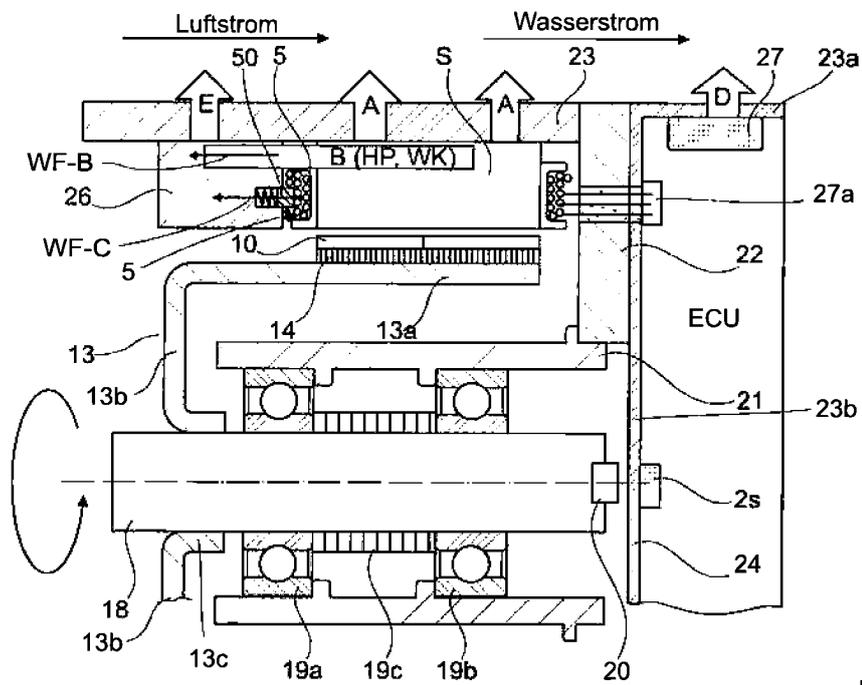


Fig. 3

Fig. 4a

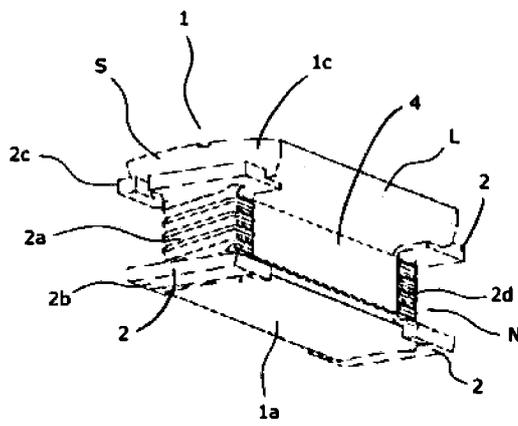


Fig. 4c

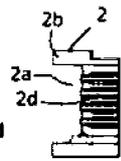


Fig. 4d

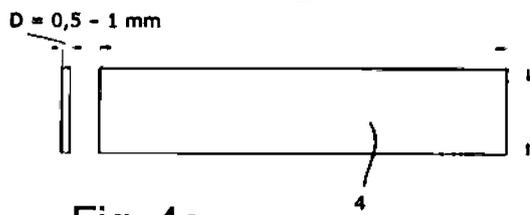
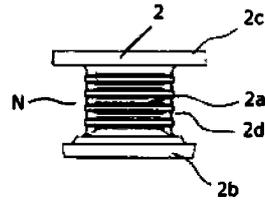


Fig. 4e

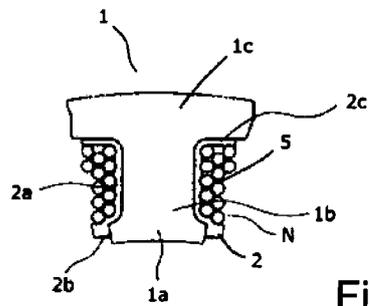


Fig. 4b

