(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
25. September 2014 (25.09.2014)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/147072 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
C08G 18/76 (2006.01) *C08G 18/32* (2006.01)
C08G 18/16 (2006.01) *C08K 3/36* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/055414

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. März 2014 (18.03.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 205 117.4 22. März 2013 (22.03.2013) DE

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: **GRÜBEL, André**; Flugplatzstraße 90, 90768 Fürth (DE). **ÜBLER, Matthias**; Stockauer Weg 8, 92289 Ursensollen (DE). **HUBER, Jürgen**; Am Heiligenholz 6, 91058 Erlangen (DE). **KLAUSSNER, Bernhard**; Grolandstraße 21, 90408 Nürnberg (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, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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).

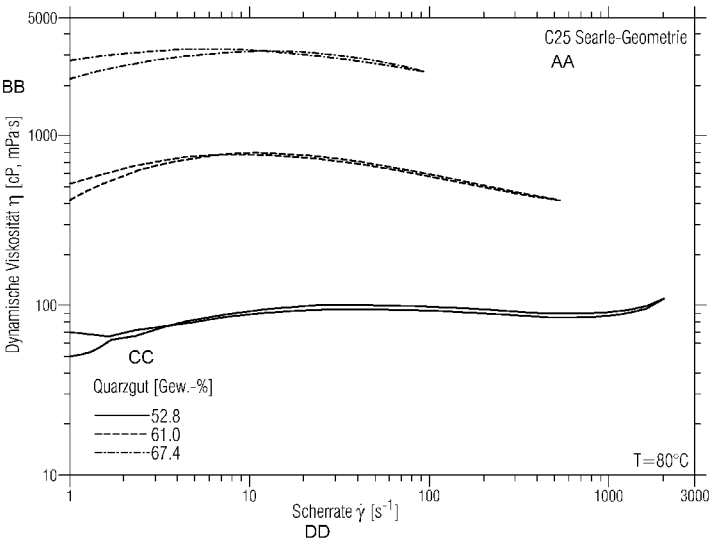
Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

(54) Title: POTTING MASS, USE OF THE POTTING MASS, AND THERMALLY CURED COMPOSITE OBTAINABLE FROM THE POTTING MASS

(54) Bezeichnung : VERGUSSMASSE, VERWENDUNG DER VERGUSSMASSE UND THERMISCH GEHÄRTETER KOMPOSIT ERHÄLTLICH AUS DER VERGUSSMASSE



AA C25 Searle geometry
BB Dynamic viscosity η [cP, mPa·s]
CC Fused silica [wt%]
DD Shear rate γ̇ [s^{-1}]

(57) Abstract: The invention relates to a potting mass having a resin component containing comprises at least one bisphenol diglycidyl ether, at least one constitutional isomer of diphenylmethane diisocyanate or a mix of several constitutional isomers of diphenylmethane diisocyanate and homologs having 3, 4, and more phenyl groups, wherein the potting mass contains a filler component having a first filler fraction, wherein the first filler fraction is native and/or epoxy-functionalized amorphous fused silica having a value for the average particle diameter from the range of 10 nm to 1000 µm, and the filler component has at least one second filler fraction, wherein at least one member of the group comprising native amorphous fused silica, epoxy-functionalized amorphous fused silica, quartz powder, aluminum oxide, dolomite, chalk, glass beads, boron nitride, wollastonite, zeolite, and polysiloxane having a value for the average particle diameter from the range of 10 nm to 1000 µm is selected as the second filler fraction, wherein the average particle diameter of the second filler fraction is less than the average particle diameter of the first filler fraction by at least a factor of 2.5.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/147072 A1

Vergussmasse, Verwendung der Vergussmasse und thermisch gehärteter Komposit erhältlich aus der Vergussmasse Die Erfindung betrifft eine Vergussmasse mit einer Harzkomponente enthaltend eine Mischung aus wenigstens einem Bisphenol-Diglycidylether, wenigstens einem Konstitutionsisomeren von Diphenylmethandiisocyanat oder einem Gemisch von mehreren Konstitutionsisomeren von Diphenylmethandiisocyanat und Homologen mit 3, 4 und mehr Phenylgruppen, wobei die Vergussmasse eine Füllstoffkomponente mit einer ersten Füllstofffraktion beinhaltet, wobei die erste Füllstofffraktion natives und/oder epoxyfunktionalisiertes amorphes Quarzgut mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm ist, und die Füllstoffkomponente wenigstens eine zweite Füllstofffraktion aufweist, wobei die zweite Füllstofffraktion ausgewählt ist aus wenigstens einem Mitglied der Gruppe bestehend aus nativem amorphem Quarzgut, epoxyfunktionalisiertem amorphem Quarzgut, Quarzmehl, Aluminiumoxid, Dolomit, Kreide, Glasperlen, Bornitrid, Wollastonit, Zeolith und Polysiloxan mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm, wobei der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion um wenigstens den Faktor 2,5 kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion..

Beschreibung

Vergussmasse, Verwendung der Vergussmasse und thermisch gehärteter Komposit erhältlich aus der Vergussmasse

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vergussmasse, eine Verwendung der Vergussmasse, sowie einen thermisch gehärteten Komposit erhältlich aus der Vergussmasse.

Elektrische Maschinen, die der Umwandlung von Strom in mechanische Energie zur Erzeugung rotierender und/oder translatorischer Bewegung dienen ("elektromechanischer Wandler"), bestehen in aller Regel aus einem fixem Stator und einem darin rotierendem Rotor. Der Stator ist dabei oftmals mit Nuten durchzogen, in denen zueinander isolierte, speziell miteinander verschaltete, metallische Leiter (meist Kupferleiter) in Form von gestapelten Windungen (sog. Formspulen) eingebracht sind, die durch Bestromung ein im Kreis umlaufendes, den zentral gelagerten Rotor durchdringendes Magnetfeld induzieren.

Durch Abstoßungskräfte des Rotormagnetfeldes vom Statormagnetfeld wird Drehbewegungsenergie hervorgerufen, die zum Antrieb verwendet werden kann. Da der Stator, der für gewöhnlich aus speziell gestanzten und gestapelten Elektroblechen aufgebaut ist, auf Erdpotential liegt, die Leiter in den Nuten jedoch aktiv mit Potentialen bis in den Kilovoltbereich hinein angesteuert werden, muss eine Isolierung zwischen den gestapelten Kupferspulen und dem sog. Blechpaket ausgebildet werden, die zum einen gegen elektrische Durchschläge resistent ist, zum anderen jedoch auch mechanischen Beanspruchungen standhält.

Für Bahnmaschinen ist eine Lebensdauer von bis zu 30 Jahren avisiert und dementsprechend muss die Isolierung elektrischen Teilentladungsbeanspruchungen sowie thermomechanischen Belastungen standhalten, um der Bildung von Rissen und Erosionskanälen elektrischen und/oder mechanischen Ursprungs entgegen-

zuwirken, die zu Kurzschlüssen führen und die Maschine unbrauchbar machen würden.

Um eine teilentladungsbeständige und mechanisch beanspruchbare Isolation um die aufeinander gestapelten Teilleiter der Formspulen zu realisieren, bedient man sich oftmals einer Umwicklung des später in den Nuten eingelegten Leiterbündelteils mit teilentladungsresistenten Glimmerbändern. Dazu wird die aus dem sog. Spulenfisch gezogene Formspule händisch oder auch automatisiert bzw. teilautomatisiert in definiertem Überlapp mit Glimmerpapier auf Zug umsponnen und fixiert. Diese so präparierten Spulen werden manuell in die Nuten eingepasst, fixiert, elektrisch durch Löten verschaltet und der ganze Stator in einem sog. Global-VPI-Prozess mit einem thermisch hoch beanspruchbaren Tränkharz (meist auf Polyester- und/oder Silikonbasis) möglichst fehlstellenfrei imprägniert und anschließend unter Wärmezufuhr ausgehärtet, wodurch ein Glimmerband-Harz-Komposit als Hauptisolation entsteht.

Dieser Verbundwerkstoff zeichnet sich durch eine hohe Dauergebrauchstemperatur aus und bietet derzeit, als Gesamtsystem betrachtet, eine zulässige Verwendung unter "Wärmeklasse H"-Bedingungen gemäß den Anforderungen der IEC 60034-18-31 und -32.

Das Umwickeln der Teilleiterstapel sowie das nachträgliche Imprägnieren mit Tränkharz sowie die lange, thermische Härtungsphase bei hohen Temperaturen zur Ausbildung der Glimmerband-Leiter-Komposite ist ein langwieriger, bisweilen fehlerbehafteter und teurer Prozess.

Die Umgehung dieses Nachteils des Stands der Technik ist seit langem und gegenwärtig noch das Ziel ausgedehnter Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die bereits einige technische Lösungsansätze hervorgebracht haben.

So beschreibt die WO 97/11831 A1 ein Verfahren zum Extrudieren eines thermoplastischen Materials auf eine komplexe Form,

bei der es sich bevorzugter Weise um einen Statorstab handelt, wobei (a) die komplexe Form mit einer Länge und mehr als einer Seite in eine Mittelbohrung eines Gesenks zugeführt wird, wobei die Mittelbohrung eine ausreichende Konfiguration aufweist, um das Gesenk entlang der komplexen Form bewegen zu können, (b) wenigstens ein thermoplastisches Material durch das Gesenk extrudiert wird, so dass es gleichzeitig auf jede Seite der komplexen Form abgeschieden wird und (c) das Gesenk entlang der gesamten Länge der komplexen Form bewegt wird.

Die DE 696 01 623 T2 hat ein Verfahren zur Herstellung eines Elektromotors zum Gegenstand, bei dem eine Rotorbaugruppe auf einer Rotorwelle aufgebaut wird, wobei die Rotorbaugruppe Lager aufweist, die nahe den Enden der Rotorwelle angeordnet sind; eine Zwischenstatorbaugruppe durch Zusammensetzen eines Stapels von Statorblechen mit Statorpolen geformt wird; die Statorpole isoliert und die Statorpole mit Statorwicklungen bewickelt werden; die Zwischenstatorbaugruppe in eine Formhaltevorrichtung eingesetzt wird, die einen inneren Hohlraum aufweist, der so geformt ist, dass er eine hintere Abschlusskappe für die Statorbaugruppe und einen Dorn definiert, der durch die Mitte der Zwischenstatorbaugruppe vorsteht, um eine zentrale Bohrung zu bilden; die Statorbaugruppe nach dem Vorformling durch Einspritzen von geschmolzenem thermoplastischem Harz unter Druck in die Formhaltevorrichtung spritzgegosssen wird, wodurch der geschmolzene Kunststoff in die Zwischenstatorbaugruppe gepresst wird, um die Statorwicklungen einzubetten, innere Hohlräume zu füllen und den Formhohlraum zum Formen einer hinteren Anschlusskappe zu füllen; die Baugruppe abgekühlt wird, um den geschmolzenen Kunststoff zu einer Kunststoffmasse erstarren zu lassen, wobei die Kunststoffmasse sich bis zu der geformten Abschlusskappe erstreckt und diese einschließt; durch spanendes Bearbeiten eine Durchgangsbohrung durch die Mitte der formgepressten Statorbaugruppe angebracht wird, um eine konzentrische Bohrung für die Rotorbaugruppe herzustellen, wobei die Bohrung außerdem Montageflächen zur Aufnahme der Lager der Rotorbaugruppe erzeugt; und die Rotorbaugruppe in die Statorbaugruppe durch

Einsetzen der Rotorbaugruppe in die Durchgangsbohrung eingebaut wird und das Rotorlager mit den Montageflächen in Eingriff gebracht wird.

Aus der DE 197 48 529 A1 ist eine elektrische Maschine bekannt, die mehrere Wickeldrähte aufweist, wobei die Wickeldrähte mit mindestens einer im Extrusionsverfahren in vorgebbarer Schichtdicke aufgebrachten Isolierschicht porenfrei beschichtet sind, die Isolierschicht aus wenigstens einem Thermoplast und/oder Hochtemperaturthermoplast besteht, der Thermoplast und/oder Hochtemperaturthermoplast eine gute Bindung zu Imprägniermitteln aufweist, der Thermoplast und/oder Hochtemperaturthermoplast eine amorphe oder teilkristalline Struktur aufweist und/oder ihm Füllstoffe beigemischt sind.

Die WO 2001/48897 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung einer hochwertigen Isolierung auf einem Leiter oder Leiterbündel von rotierenden elektrischen Maschinen, bei dem in aufeinanderfolgenden Tauchdurchgängen in einem Wirbelsinterbecken Innenglimmschutz, Isolierung und Außenglimmschutz mit jeweiligen Lagendicken von ≤0,2 mm aufgebracht werden. Das Sintern sowie die Aushärtung erfolgen mit Temperaturen von ca. 200°C, so dass Materialien verwendet werden können, welche die an die Isolierung derartiger Leiter oder Leiterbündel von rotierenden elektrischen Maschinen gestellten Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus ist durch das Herstellungsverfahren, insbesondere durch die gewählte Schichtdicke der Einzellagen eine Fehlerfreiheit der Einzellagen gewährleistet, so dass keine Teilentladungen auftreten können, die ansonsten zu einer Beschädigung der Isolierung führen würden.

Die WO 2001/48895 A1 hat ein Verfahren zur Herstellung einer hochwertigen Isolierung für Leiter oder Leiterbündel zum Gegenstand, wobei ein zu beschichtender Leiter oder Leiterbündel auf einer Dreh- und Haltevorrichtung montiert wird, eine Isolierung mit einem gewünschten Schichtdickenprofil auf den vorgeheizten Leiter oder Leiterbündel mittels einer auf einer einstellbaren Verfahreinheit angeordneten Sprühpistole aufge-

bracht wird, wobei bei dem Aufbringen entweder eine kombinierte Bewegung von Sprühpistole und Leiter oder Leiterbündel mittels der Verfahreinheit sowie der Dreh- und Haltevorrichtung oder eine alleinige Bewegung der Sprühpistole mittels der Verfahreinheit erfolgt, und die aufgebrachten Schichten nachgehärtet werden. Mittels dieses Sprühsinterverfahrens ist es möglich, Innenglimmschutz, Isolierung und Außenglimmschutz auf Leitern oder Leiterbündeln aufzubringen, bei denen aufgrund eines sehr geringen Fehlstellengehalts der Isolierung und ihrer härenten Resistenz gegen Teilentladungen auf die Verwendung von Wickelverfahren mit Glas/Glimmerbändern verzichtet werden kann. Dadurch entfällt die Verwendung aufwendiger Spezialgeräte und es werden wesentliche Verkürzungen bei den Durchlaufzeiten möglich.

Aus der WO 2001/82449 A1 sind Magnetspulen für einen elektromagnetischen Rotor bekannt, die mehrere Windungen aufweisen, die alle im Wesentlichen vollständig mit einem Pulverharz beschichtet sind, das eine dielektrische Durchschlagsfestigkeit im Bereich von wenigstens 1000-1500 v/mil aufweist. Das Verfahren zum Herstellen der Magnetspule für einen elektromagnetischen Rotor umfasst a) Bereitstellen einer Magnetspule, die mehrere Lagen an Kupferstäben aufweist; b) Beschichten der mehreren Lagen der Magnetspule mit einem Pulverharz, das eine dielektrische Durchschlagsfestigkeit von wenigstens etwa 1000-1500 v/mil aufweist; und c) Aushärten des Pulverharzes.

Die DE 100 23 207 A1 beschreibt ein Verfahren zum Aufbringen der Hauptisolierung von Spulenurformen, insbesondere für Statorwicklungen, wobei die Spulenurform einen rechteckigen Querschnitt aufweist und die Hauptisolierung aus Elastomer besteht. In bevorzugter Weise erfolgt hierbei die Ummantelung mit einem Silikonelastomer.

Die DE 100 23 208 A1 hat ein Verfahren zum Aufbringen der Hauptisolierung von Leiterstäben zum Gegenstand, insbesondere von Leiterstäben für Statorwicklungen, wobei die Leiterstäbe einen rechteckigen Querschnitt aufweisen. Bei dem Verfahren

wird ein endlicher Leiterstab in eine Spritzgussform eingebracht, der Leiterstab in der Spritzgussform zentriert, so dass zwischen Leiterstab und Spritzgussform ein Hohlraum zur Aufnahme eines Isoliermaterials verbleibt, und der Hohlraum mit einem Elastomer zur Ausbildung der Hauptisolierung aufgefüllt.

Die DE 10 2008 003 784 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verguss von Statoren für Elektromotoren mit innenliegenden Läufern. Hierbei umfasst die Vorrichtung eine Rotationsachse, eine Antriebseinrichtung zum drehenden Antrieb der Rotationsachse und eine an der Rotationsachse angebrachte Halteeinrichtung zum längsaxialen Einspannen eines Stators. Zum Verguss wird der Stator in die Halteeinrichtung eingespannt und für den Verguss mit fließfähiger Vergussmasse mittels der Antriebseinrichtung in Rotation versetzt. Das Verfahren beruht darauf, dass der Stator um seine Längsachse während und/oder nach dem Einbringen von fließfähiger Vergussmasse so in Rotation versetzt wird, dass die Vergussmasse während des Rotationsgussvorgangs hohlraumausfüllend und gleichmäßig verteilt wird. Hierdurch wird es ermöglicht, einen Stator voll zu vergießen, ohne dass eine nachträgliche Statordurchgangsbohrung angebracht werden muss. Daneben ergibt sich der Vorteil, dass die Vergussmasse die Statorwicklung und Hohlräume zuverlässig ausfüllt und eine glatte dem Rotor zugewandte Oberfläche ausbildet.

Und aus der EP 2 113 991 A1 ist ein Blechpaket eines Stators einer dynamoelektrischen Maschine mit in Nuten angeordneten Wicklungen bekannt, die an den Stirnseiten des Blechpakets Wickelköpfe ausbilden, die in einer Vergussmasse, insbesondere Harz eingebettet sind, wobei das Blechpaket an seinem radial äußeren Bereich zumindest eine axial verlaufende Ausnehmung mit einer in Umfangsrichtung geschlossenen Kontur aufweist.

Als Vergussmasse wird gemäß der EP 2 113 991 A1 ein thermisch härtbares Epoxidharz mit darin dispergierter Füllstofffrakti-

on beschrieben, die eine Wärmeklasseeinstufung "F" nach IEC 60034-18-21 aufweist. Elektrische Maschinen, insbesondere für Bahnanwendungen, müssen jedoch stetig harscheren thermischen und mechanischen Anforderungen genügen.

Es ist daher Ziel der vorliegenden Erfindung eine Vergussmasse für Statorvollvergüsse zur Verfügung zu stellen, die als Prepolymer lunkerfrei und dünnflüssig vergießbar ist und im ausgehärteten Zustand eine vergleichbare und/oder höhere thermische Dauergebrauchstemperatur aufweist als der Stand der Technik, dabei teilentladungsresistent über lange Zeiträume ist und ein hervorragendes thermo- sowie bruchmechanisches Eigenschaftsportfolio besitzt.

Diese Aufgaben werden gelöst durch die Vergussmasse gemäß Anspruch 1, die Verwendung der Vergussmasse gemäß Anspruch 9, sowie das thermisch gehärtete Komposit gemäß Anspruch 10. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß wird eine Vergussmasse mit einer Harzkomponente vorgeschlagen, wobei die Harzkomponente eine Mischung aus wenigstens einem Bisphenol-Diglycidylether, wenigstens einem Konstitutionsisomeren von Diphenylmethandiisocyanat oder einem Gemisch von mehreren Konstitutionsisomeren von Diphenylmethandiisocyanat und Homologen mit 3, 4 und mehr Phenylgruppen, wobei der Anteil von Bisphenol-Diglycidylether an der Harzkomponente 7 Gew.-% bis 30 Gew.-%, bevorzugt 9 Gew.-% bis 27 Gew.-% beträgt, sowie einen Reaktionsbeschleuniger mit einem Gehalt von 0,5 Gew.-% bis 15 Gew.-%, bevorzugt 3 Gew.-% bis 10 Gew.-%, bezogen auf das Gewicht der füllstofffreien Harzkomponente enthält.

Die Vergussmasse ist dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Füllstoffkomponente beinhaltet, wobei der Anteil der Füllstoffkomponente am Gesamtgewicht der Vergussmasse 50 Gew.-% bis 95 Gew.-%, bevorzugt 60 Gew.-% bis 90 Gew.-%, besonders bevorzugt 60 Gew.-% bis 80 Gew.-% beträgt, und die Füllstoff-

komponente eine erste Füllstofffraktion beinhaltet, wobei die erste Füllstofffraktion natives und/oder epoxyfunktionalisiertes, amorphes Quarzgut mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm ist, und
die Füllstoffkomponente wenigstens eine zweite Füllstofffraktion aufweist, wobei die zweite Füllstofffraktion ausgewählt ist aus wenigstens einem Mitglied der Gruppe bestehend aus nativem amorphem Quarzgut, epoxyfunktionalisiertem amorphem Quarzgut, Quarzmehl, Aluminiumoxid, Dolomit, Kreide, Glasperlen, Bornitrid, Wollastonit, Zeolith und Polysiloxan mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm,
wobei der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion um wenigstens den Faktor 2,5 kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion.

Mit der erfindungsgemäßen Vergussmasse können gehärtete Komposite hergestellt werden, die aufgrund des relativ hohen Anteils an amorphem Quarzgut eine sehr geringe thermische Ausdehnung mit LCTE-Werten (LCTE = „linear coefficient of thermal expansion") von 30 ppm/°C oder weniger aufweisen. Die dynamische Verarbeitungsviskositäten der prepolymeren Vergussmasse beträgt bei 80°C vorteilhafter Weise unterhalb ca. 1000 cp bzw. 1 Pa*s. Aus der erfindungsgemäßen Vergussmasse hergestellte Formstoffe besitzen eine außerordentlich gute Teilentladungsresistenz, hohe Durchgangswiderstände, geringes Wasseraufnahmevermögen, hohe Steifigkeiten, akzeptable bruchmechanische und thermophysikalische Eigenschaftskennwerte sowie ausgezeichnete Hydrolyseeigenschaften.

Gemäß einer ersten vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung enthält die Vergussmasse als Bisphenol-Diglycidylether Bisphenol-A-Diglycidylether, Bisphenol-F-Diglycidylether oder eine Mischung davon.

Um auch dünne Spalte fehlerfrei vergießen zu können, ist es erforderlich, dass die Vergussmasse ein gewisses Viskositäts-

niveau unterschreitet. Vorteilhafter Weise sollte daher eine fertige Vergussmasse bei ca. 80°C eine dynamische Viskosität im Bereich von 1000 mPa*s („MilliPascalSekunden") oder niedriger aufweisen. Ein solcher Viskositätsbereich kann in besonders vorteilhafter Weise durch Verwendung von Bisphenol-F-Diglycidylether oder einer Mischung von Bisphenol-F-Diglycidylether mit Bisphenol-A-Diglycidylether erreicht werden.

Gemäß einer zweiten vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion einen Wert aus dem Bereich von 1 µm bis 1000 µm auf.

Für den Fall, dass der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion einen Wert aus dem Bereich von 1 µm bis 1000 µm aufweist, ist er gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung um den Faktor 2,5 bis 15 kleiner als der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion.

Durch das Kombinieren von zwei Füllstofffraktionen mit unterschiedlichen Partikeldurchmessern, d.h. der Verwendung einer wenigstens bimodalen (zweikomponentigen) Füllstoffmischung, derart, dass eine im Durchmesser kleiner angelegte Füllstofffraktion die „Hohlräume" (Zwickel) einer im Partikeldurchmesser größer dimensionierten Füllstofffraktion ausfüllt, kann die Viskosität der Vergussmasse im Vergleich zu einer monomodalen (einkomponentigen) Füllstoffmischung reduziert werden, da das sonst in Zwickeln befindliche prepolymere Harz der Dispersion zur Verfügung steht und damit deren Zähigkeit abnimmt. Es können hierdurch Werte für die dynamische Viskosität von deutlich unter 1000 mPa*s erreicht werden, wodurch auch ein höherer Gesamtfüllstoffanteil in der erfindungsgemäßen Vergussmasse möglich ist. Umso höher der Gesamtfüllstoffanteil ist, umso kleinere LCTE-Werte weisen die aus der Vergussmasse hergestellten Formkörper auf, was im Sinne der vorliegenden Erfindung sehr wünschenswert ist.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist in der Füllstoffkomponente der Vergussmasse die ers-

te und die zweite Füllstofffraktion in einem Bereich von 80 Vol.-% zu 20 Vol.-% bis zu 60 Vol.-% zu 40 Vol.-% enthalten, wobei die erste Füllstofffraktion in der Füllstoffkomponente mit dem höheren angegebenen Vol.-%-Anteil enthalten ist. Durch eine Füllstoffpartikel-Durchmesseroptimierung im oben angegebenen Bereich kann eine besonders starke Reduzierung der Viskosität der Vergussmasse erreicht werden.

Gemäß einer noch einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die Füllstoffkomponente der Vergussmasse wenigstens eine dritte Füllstofffraktion auf wobei die dritte Füllstofffraktion ausgewählt ist aus wenigstens einem Mitglied der Gruppe bestehend aus nativem amorphem Quarzgut, epoxyfunktionalisiertem amorphem Quarzgut, Aluminiumoxid, Zeolith und Polysiloxan mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm, wobei der mittlere Partikeldurchmesser der dritten Füllstofffraktion um wenigstens den Faktor 2,5 kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion.

Sofern in der vorliegenden Anmeldung der Ausdruck „wenigstens den Faktor 2,5 kleiner" verwendet wird, so ist hiermit gemeint, dass der Faktor innerhalb der zulässigen Wertebereiche für die mittleren Partikeldurchmesser jeden beliebigen Wert, d.h. 2,5 oder größer annehmen kann.

Weist der mittlere Partikeldurchmesser der dritten Füllstofffraktion einen Wert aus dem Bereich von 1 µm bis 1000 µm auf, ist gemäß einer noch weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung der mittlere Partikeldurchmesser der dritten Füllstofffraktion um den Faktor 2,5 bis 15 kleiner ist als der der mittleren Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion.

Mit einer trimodalen Füllstoffmischung kann in besonders vorteilhafter Weise eine packungskoeffizient-optimierte Füllstofffraktion mit einem Packungskoeffizient von bis zu mehr als 75 Vol.-%, bevorzugt mehr als 77 Vol.-%, besonders bevor-

zugt mehr als 80 Vol.-% (ermittelt nach Lee I.D.; Journal of Paint Technology 42, Nr. 550 (1970), 579) erreicht werden. Je höher der Füllgrad der Vergussmasse ist, desto steifer und bruchresistenter wird der aus ihr herstellbare Komposit.

In der Vergussmasse kann als eine Reaktionsbeschleuniger wenigstens eine katalytisch wirkende Verbindung und/oder ein (sensibler und/oder latent wirkender) Beschleuniger mit einem Gehalt von 0,5 Gew.-% bis 15 Gew.-%, bevorzugt 3 Gew.-% bis 10 Gew.-%, bezogen auf das Gewicht der füllstofffreien Harzkomponente beigemengt sein.

Die vorliegende Erfindung umfasst auch die Verwendung der erfindungsgemäßen Vergussmasse zum Verguss einer Statorspule und/oder eines Wickelkopfs für eine elektrische Maschine.

Weiter ist von der vorliegenden Erfindung ein thermisch gehärteter Komposit umfasst, der erhältlich ist aus einer erfindungsgemäßen Vergussmasse durch Polymerisieren der in der Vergussmasse enthaltenen Harzkomponente.

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand weiterer ergänzender Ausführungen sowie anhand eines exemplarischen Beispiels noch näher erläutert.

Wie oben bereits erwähnt, umfasst die vorliegende Erfindung unter anderem eine Vergussmasse, die eine Harzkomponente, die eine Mischung aus wenigstens einem Bisphenol-Diglycidylether und wenigstens einem Konstitutionsisomeren von Diphenylmethandiisocyanat oder einem Gemisch von mehreren Konstitutionsisomeren von Diphenylmethandiisocyanat und Homologen mit 3, 4 und mehr Phenylgruppen, wobei der Anteil von Bisphenol-Diglycidylether an der Harzkomponente 7 Gew.-% bis 30 Gew.-%, bevorzugt 9 Gew.-% bis 27 Gew.-% beträgt, und einen Reaktionsbeschleuniger mit einem Gehalt von 0,5 Gew.-% bis 15 Gew.-%, bevorzugt 3 Gew.-% bis 10 Gew.-%, bezogen auf das Gewicht der füllstofffreien Harzkomponente beinhaltet.

Es sind verschiedene Bisphenol-Diglycidylether bekannt. Diese Diglycidylether sind - wie aus dem Namen bereits ersichtlich ist - abgeleitet von einem Bisphenol mit der allgemeinen Formel $HO-C_6H_5-R_2C-C_6H_5-OH$, wobei unterschiedliche Reste R vorhanden sein können. Bei Bisphenol-A-Diglycidylether ist R jeweils eine $-CH_3$-Gruppe, bei Bisphenol-F-Diglycidylether ist R jeweils ein -H-Rest. An Stelle der endständigen Wasserstoff-Atome der -OH-Gruppen von Bisphenol enthalten die Bisphenol-Diglycidylether jeweils eine Oxiran-Gruppe (Epoxid).

Erfindungsgemäß können grundsätzlich alle Bisphenol-Diglycidylether-Derivate verwendet werden, bevorzugt jedoch Bisphenol-A-Diglycidylether, Bisphenol-F-Diglycidylether oder eine Mischung davon.

Wenn anstatt von Bisphenol-A-Diglycidylether Bisphenol-F-Diglycidylether oder eine Mischung aus Bisphenol-A-Diglycidylether und Bisphenol-F-Diglycidylether verwendet wird, hat dies den Vorteil, dass die Mischung bedeutend dünnflüssiger ist als mit Bisphenol-A-Diglycidylether allein. Um auch dünne Spalte fehlerfrei vergießen können, sollte - wie oben bereits erwähnt - eine fertige Mischung bei ca. 80°C eine dynamische Viskosität im Bereich von 1000 mPa*s („MilliPascalSekunden") oder niedriger aufweisen. Dies ist mit der oben erwähnten Verwendung von Bisphenol-F-Diglycidylether oder einer Mischung aus Bisphenol-A-Diglycidylether und Bisphenol-F-Diglycidylether leichter möglich, als mit Bisphenol-A-Diglycidylether allein.

Diphenylmethandiisocyanate (MDI) sind chemische Verbindungen aus der Gruppe der aromatischen Isocyanate. Im Normalfall stellen Diphenylmethandiisocyanate ein Gemisch von mehreren Konstitutionsisomeren dar, die sich in der Position der Isocyanatgruppen unterscheiden. Technisches Diphenylmethandiisocyanat (auch als PMDI oder Polymeres MDI bezeichnet) ist eine Mischung aus 30 bis 80 % MDI und Homologen mit 3, 4 und mehr Phenylgruppen mit abnehmender Konzentration bei steigen-

der Kettenlänge. Auch PMDI kann in der Harzkomponente der erfindungsgemäßen Vergussmasse verwendet werden.

Für die erfindungsgemäße Vergussmasse ist insbesondere das Epoxid- zu Isocyanatverhältnis von Bedeutung, um stabile Komposite zu erhalten. Erfindungsgemäß enthält die füllstofffreie Harzkomponente einen Anteil von Bisphenol-Diglycidylether an der füllstofffreien Harzkomponente im Bereich von 7 Gew.-% bis 30 Gew.-%, bevorzugt 9 Gew.-% bis 27 Gew.-%.

In der füllstofffreien Harzkomponente beträgt der Isocyanat(gruppen)gehalt (NCO-Gehalt) vorteilhafter Weise im Bereich zwischen 15 Gew.-% bis 30 Gew.-%, bevorzugt 19 Gew.-% bis 27 Gew.-% (bestimmt gemäß 2011-0506601-95D).

Als Reaktionsbeschleuniger kann jede geeignete Verbindung oder eine Mischung von Verbindungen verwendet werden, durch die die Vernetzungsreaktion zur Ausbildung eines Komposits beschleunigt werden kann. Als Reaktionsbeschleuniger können daher alle Verbindungen oder Mischungen von Verbindungen verwendet werden, die als geeignete Katalysatoren oder Beschleuniger (Reaktivhärter) für die Vernetzungsreaktion bekannt sind.

Als geeignete katalytisch wirkende Verbindungen sind etwa tertiäre Amine und Imidazole bekannt. Beispiele für tertiäre Amine sind Tetramethylethylendiamin, Dimethyloctylamin, Dimethylaminoethanol, Dimethylbenzylamin, Dibenzylmethylamin, 2,4,6-Tris(dimethylaminomethyl)phenol, N,N'-Tetramethyldiaminodiphenylmethan, N,N'-Dimethylpiperazin, N-Methylmorpholin, N-Methylpiperidin, N-Ethylpyrrolidin, 1,4-Diazabicyclo(2,2,2)-octan und Chinoline. Geeignete Imidazole sind beispielsweise 1-Methylimidazol, 2-Methylimidazol, 1,2-Dimethylimidazol, 1,2,4,5-Tetramethylimidazol, 1-Benzyl-2-phenylimidazol, 2-Undecylimidazol, 2-Heptadecylimidazol, 2-Ethyl-4-methylimidazol, 1-Cyanoethyl-2-ethyl-4-methylimidazol, 1-Cyanoethyl-2-phenylimidazol und 1-(4,6-Diamino-s-triazinyl-2-ethyl)-2-phenylimidazol.

Als Härtungskatalysatoren eignen sich ferner Oniumsalze, bevorzugt Oniumsalze mit N oder P als Zentralatom. Beispiele für verwendbare Oniumsalze sind: Tetraethylammoniumchlorid, Tetraethylammoniumbromid, Octyltrimethylammoniumbromid, Benzyltrimethylammoniumchlorid, Tetrabutylphosphoniumbromid, N-Ethylmorpholiniumbromid, 2-Ethyl-4-methylimidazoliumbromid, N-Ethylmorpholiniumtetraphenylborat, 1,2-Dimethylimidazoliumtetraphenylborat und Tetrabutylammoniumtetraphenylborat.

Bekannte Reaktivhärter sind etwa solche auf Basis von einem oder mehreren (aliphatischen, cycloaliphatischen, heterocyclischen) Aminderivaten mit zwei oder mehr primären und/oder sekundären Amingruppen, wie etwa ein oder mehrere Polyamin(e), modifizierte(s) Polyamin(e), Polyamidoamin(e).

Bevorzugt werden aminische Reaktionsbeschleuniger (z.B. auf Basis tertiärer Amine) zur sofortigen Gelierung oder latente Katalysatoren verwendet. Hiermit kann die Gelierung bei Temperaturen zwischen 60°C und 120°C (z.B. bei 60°C, 65°C, 70°C, 75°C, 80°C, 85°C, 90°C, 95°C, 100°C, 105°C, 110°C, 115°C, 201°C) initiiert werden.

Unter latenten (Härtungs)Katalysatoren versteht man solche, die bei niederen Temperaturen eine ausreichende Gebrauchsdauer gewährleisten. Als derartige Katalysatoren, die auch als latente Reaktionsbeschleuniger bezeichnet werden, eignen sich beispielsweise Additionskomplexe von Bortrihalogeniden mit tertiären Aminen und Imidazolen, bspw. die in der Auslegeschrift DE 26 55 367 beschriebenen Additionskomplexe von Bortrichlorid und tertiären Aminen der allgemeinen Formel $BCl_3 \bullet NR^1R^2R^3$, in der R^1, R^2 und R^3 gleiche oder verschiedene aliphatische, aromatische, heterocyclische oder arylaliphatische Reste sind, die paarweise auch Bestandteil von heterocyclischen Ringen sein können. Geeignet sind auch die analogen Komplexe des Bortrifluorids der Formel $BF_3 \bullet NR^1R^2R^3$, wobei R^1, R^2 und R^3 die vorstehend angegebene Bedeutung haben. Spezielle Beispiele für geeignete tertäre Ami-

ne der BF_3- und BCl_3-Komplexe sind Octyldimethylamin und Dimethylbenzylamin.

Auch Morpholinverbindungen und Imidazole, insbesondere N-Methylmorpholin. N-Ethylmorpholin, 1,2-Dimethylimidazol und 1-Benzyl-2-phenylimidazol, sind zur Bildung von BCl_3- und/oder BF_3-Komplexen geeignet. Eine Verlängerung der Gebrauchsdauer kann auch erreicht werden, wenn als latente Katalysatoren tertiäre Amine oder Imidazole verwendet werden, die durch Zusatz von Elektronenakzeptoren deaktiviert sind. Geeignete Elektronenakzeptoren sind beispielsweise 7,7,8,8-Tetracyanochinodimethan, 2,3-Dichlor-5,6-dicyanobenzochinon und 2,3,5,6-Tetrachlorbenzochinon.

Als kommerziell erhältliche Beispiele für geeignete Reaktionsbeschleuniger seien hier erwähnt Blendurkat 901 K 33 (latenter Katalysator; Bayer AG) und Blendurkat 3-4523 (enthält Dibenzylmethylamin; Bayer AG).

Der Reaktionsbeschleuniger kann in bevorzugter Weise mit einem Gehalt von 0,5 Gew.-% bis 15 Gew.-%, bevorzugt 3 Gew.-% bis 10 Gew.-%, bezogen auf das Gewicht der füllstofffreien Harzkomponente beigemengt sein. Die füllstofffreie Harzkomponente setzt sich somit bevorzugt aus 7 Gew.-% bis 30 Gew.-%, bevorzugt 9 Gew.-% bis 27 Gew.-% Bisphenol-Diglycidylether, 0,5 Gew.-% bis 15 Gew.-%, bevorzugt 3 Gew.-% bis 10 Gew.-% Reaktionsbeschleuniger, sowie 55 Gew.-% bis 92,5 Gew.-% von wenigstens einem Konstitutionsisomeren von Diphenylmethandiisocyanat zusammen. Hierbei werden die Anteile der einzelnen Komponenten der füllstofffreien Harzkomponente jeweils so gewählt, dass sich 100 Gew.-% ergeben.

Weiter beinhaltet die erfindungsgemäße Vergussmasse eine Füllstoffkomponente, wobei der Anteil der Füllstoffkomponente am Gesamtgewicht der Vergussmasse 50 Gew.-% bis 95 Gew.-%, bevorzugt 60 Gew.-% bis 90 Gew.-%, besonders bevorzugt 60 Gew.-% bis 80 Gew.-% beträgt. Die Füllstoffkomponente beinhaltet eine erste Füllstofffraktion, wobei die erste Füll-

stofffraktion natives und/oder epoxyfunktionalisiertes, amorphes Quarzgut mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm ist.

Die erste Füllstofffraktion hat somit einen mittleren Partikeldurchmesser ($d_{50\%}$) der ausgewählt ist aus einem Wert, der von dem Bereich von 10 nm bis 100 µm umfasst ist. Der untere Grenzwert des angegebenen Bereichs kann auch 20 nm, 30 nm, 40 nm, 50 nm, 60 nm, 70 nm, 80 nm, 90 nm, 100 nm, 150 nm, 200 nm, 300 nm, 400 nm, 500 nm, 600 nm, 700 nm, 800 nm, 900 nm oder 1000 nm betragen. Der obere Grenzwert des angegebenen Bereichs kann auch 900 µm, 800 µm, 700 µm, 600 µm, 500 µm, 400 µm, 300 µm, 200 µm oder 100 µm betragen. Die von der vorliegenden Erfindung umfassten Bereiche können gebildet werden durch eine Kombination von einem beliebigen der angegebenen unteren und einem beliebigen der angegebenen oberen Grenzwerte.

Als erste Füllstofffraktion ist epoxyfunktionalisiertes, amorphes Quarzgut bevorzugt. Ein derartiger Füllstoff wird hergestellt, indem die oxidische Oberfläche der Füllstoffteilchen mit einem Kupplungsreagenz auf Epoxysilanbasis abgesättigt wird. Dabei reagiert die Oberfläche der Füllstoffteilchen kovalent mit den Silanteil des Kupplungsreagenz. Es resultiert in der Regel eine freie, von der Oberfläche der Füllstoffteilchen wegweisende Oxiraneinheit je Kupplungsmolekül. Diese Oxiraneinheiten können dann mit dem (P)MDI reagieren. Hierdurch erfolgt eine gute Anbindung an das Harz und es verbessert sich im Vergleich zur Verwendung von nicht-gecoateten Füllstoffteilchen die Bruchfestigkeit des fertigen Komposits erheblich. Auch dispergieren die Füllstoffteilchen bedeutend besser ins Harz.

Um besonders geringe lineare thermische Ausdehnungen (LCTE = „linear coefficient of thermal expansion“) im gehärteten Kompositzustand zu realisieren, muss dem prepolymeren Gemenge ein oder mehrere Füllstoffe zugegeben werden und zwar ideal-

erweise so viel, dass man thermische Ausdehnungen erreicht, die dem einzugießendem Teil nahekommen.

Beim Vergießen eines Blechpakets eines elektromechanischen Wandlers wäre somit ein LCTE, der demjenigen von Stahl entspricht, also ca. 12 ppm/°C, ideal. Da das füllstofffreie Polymerisat üblicherweise einen LCTE von 60-100 ppm/°C aufweist, muss ein Füllstoff mit besonders geringem LCTE eingebracht werden. Handelsübliche und dabei preiswerte Füllstoffe sind Quarze. Hierbei unterscheidet man zwischen kristallinem Quarz (sog. Quarzmehl) und amorphen Quarz (Quarzgut, Fused Silica). Letzteres hat einen LCTE von 0,6 ppm/°C, Quarzmehl dagegen 12-14 ppm/°C. Gibt man beispielsweise 61 Gew.-% amorphen Quarz bezogen auf die dann füllstoffhaltige Formulierung zu, erhält man einen Komposit-LCTE von 25 ppm/°C, was bedeutend weniger ist, als ein üblicherweise mit 66 Gew.-% Quarzmehl gefülltes Epoxid/Anhydrid-System, das als Referenz für eine typische Vergussmasse angesehen werden kann, wobei dieses jedoch nur die Wärmeklasse-Einstufung F aufweist, also eine Dauergebrauchstemperatur von 155°C. Demgegenüber weist ein aus der erfindungsgemäßen Vergussmasse hergestellter Komposit die Wärmeklasse-Einstufung H auf, also eine Dauergebrauchstemperatur von 180-200°C.

Zur noch weiteren Absenkung des LCTE-Werts ist es aber nicht möglich, einfach den Füllstoffanteil an der fertigen Mischung über den oben angegebenen Bereich hinaus zu erhöhen. Wie bereits mehrfach erwähnt, muss beim Verguss nämlich ein gewisses Viskositätsniveau unterschritten werden, damit auch dünne Spalte fehlerfrei vergossen werden können. Hierbei sollte eine fertige Mischung bei ca. 80°C eine dynamische Viskosität im Bereich von 1000 mPa*s („MilliPascalSekunden") aufweisen.

Durch einen zu hohen monomodalen Füllstoffanteil würde diese dynamische Viskosität bei ca. 80°C nicht mehr erreicht werden. Zwar könnte man in diesem Fall die Verarbeitungstemperatur erhöhen, dies ist aber aufgrund der sich dadurch verkürzenden Gelzeit nicht wünschenswert.

Vor diesem Hintergrund ist erfindungsgemäß vorgesehen, zwei oder drei Füllstofffraktionen mit unterschiedlichen Partikeldurchmessern in vorteilhafter Weise zu kombinieren. Hierbei werden Füllstoffe derart miteinander kombiniert, dass eine im Durchmesser kleiner angelegte Füllstofffraktion die Zwickel einer im Partikeldurchmesser größer dimensionierten Art ausfüllt. Mittels einer solchen Packungskoeffizient-Optimierung können deutlich reduzierte Viskositäten erzielt werden, weil das sonst in Zwickeln befindliche prepolymere Harz der Dispersion zur Verfügung steht und damit die Zähigkeit abnimmt.

Liegt der mittlere Partikeldurchmesser der ersten, zweiten und dritten Füllstofffraktion im mikroskaligen Bereich, weist also einen Wert aus dem Bereich von 1 µm bis 1000 µm auf, ist eine Füllstoffpartikel-Durchmesseroptimierungen vorteilhaft. Daher ist gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, dass im Fall einer bimodalen Füllstoffkomponente, wobei die erste und zweite Füllstofffraktion jeweils einen Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 1 µm bis 1000 µm aufweisen, der mittlere Partikeldurchmesser der Teilchen der zweiten Füllstofffraktion um den Faktor 2,5 bis 15 kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion. Hierbei ist der der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion bevorzugt um den Faktor 6-8 (Faktor 6, 7 oder 8) kleiner als der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion.

Eine weitere Optimierung der Füllstoffpartikeldurchmesser wird erreicht, wenn die Füllstoffkomponente die erste und die zweite Füllstofffraktion in einem Bereich von 80 Vol.-% zu 20 Vol.-% bis zu 60 Vol.-% zu 40 Vol.-% enthält, wobei die erste Füllstofffraktion in der Füllstoffkomponente mit dem höheren angegebenen Vol.-%-Anteil enthalten ist.

Dies soll anhand eines vorteilhaften Beispiels erläutert werden. Wenn man beispielsweise davon ausgeht, dass in einer bimodalen (zweikomponentigen) Füllstoffmischung ein Partikel-

durchmesserverhältnis von 1:7 und ein Anteil der Füllstofffraktionen von 70 Vol.-% zu 30 Vol.-% dem Optimum nahekommt, ergäbe sich eine Füllstoffmischung von z.B. aus einem Pulver mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 700 µm mit 70 Vol.-%-Anteil und einem Pulver mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 100 µm, das im Füllstoffverbund 30 Vol-%. einnimmt. Eine derartige Pulvermischung könnte man dann beispielsweise als 61 Gew.-%ige Beimengung in 39 Gew.-% füllstofffreier Harzmatrix dispergieren, wobei signifikant niedrigere Viskositäten erhalten würden als bei einem monomodalen Füllstoff.

Da die Viskosität bei einer bimodalen Füllstoffmischung im Vergleich zur monomodalen Mischung bei ca. 80°C deutlich unter besagten 1000 mPa*s liegt, wäre sogar ein höherer Gesamtfüllstoffanteil möglich, z.B. 65 Gew.-%, wodurch der LCTE weiter sinken würde, etwa auf ca. 20 ppm/°C.

Ein noch weitere Optimierung der Vergussmasse wird erreicht, wenn, wie dies gemäß einer noch weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung vorgesehen ist, die erfindungsgemäße Vergussmasse eine dritte Füllstofffraktion mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm, bevorzugt 100 nm bis 150 µm aufweist. Hierdurch wird eine trimodale (dreikomponentige) Füllstoffkomponente realisiert.

Für den Fall, dass die dritte Füllstofffraktionen einen Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 1 µm bis 1000 µm aufweist, ist es von Vorteil, wenn der mittlere Partikeldurchmesser der dritten Füllstofffraktion um den Faktor 2,5 bis 15, bevorzugt um den Faktor 6-8 (Faktor 6, 7 oder 8) kleiner ist als der mittleren Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion.

Bei einer trimodalen Füllstoffkomponente, bei der jede der Füllstofffraktionen einen mittleren Partikeldurchmesser im Bereich von 1 µm bis 1000 µm aufweist, kann somit eine Füll-

stoffpartikel-Durchmesseroptimierung vorteilhaft sein, bei der der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstoffkomponente um den Faktor 2,5 bis 15 (bevorzugt um den Faktor 6 bis 8) kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion, und der mittlere Partikeldurchmesser der dritten Füllstoffkomponente um den Faktor 2,5 bis 15 (bevorzugt um den Faktor 6 bis 8) kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion.

Bei einer bimodalen und einer trimodalen Füllstoffkomponente, bei der jede der Füllstofffraktionen einen mittleren Partikeldurchmesser im Bereich von 1 µm bis 1000 µm aufweisen soll, ist selbstverständlich darauf zu achten, dass für die einzelnen Füllstoffkomponenten Pulver mit geeigneten mittleren Partikeldurchmessern gewählt werden. Bei einer bimodalen Füllstoffkomponente muss beispielsweise in Abhängigkeit von dem Faktor, um den der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion kleiner sein soll als derjenige der ersten Füllstofffraktion eine erste Füllstofffraktion mit einem mittleren Partikeldurchmesser gewählt werden, bei der durch eine Division mit dem Faktor für die zweite Füllstofffraktion ein Wert von mindestens 1 µm für den mittleren Partikeldurchmesser verbleibt. In ähnlicher Weise müssen die mittleren Partikeldurchmesser für eine trimodale Füllstoffkomponente gewählt werden. Sollen beispielsweise der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion um den Faktor 2,5 kleiner sein als der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion, und der mittlere Partikeldurchmesser der dritten Füllstofffraktion um den Faktor 2,5 kleiner sein als der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion, darf für die erste Füllstofffraktion ein mittlerer Partikeldurchmesser von nicht kleiner als 6,25 µm gewählt werden.

Bei einer trimodalen Füllstoffkomponente ist die erste Füllstofffraktion bevorzugt in einem Bereich von 60 Vol.-% bis 80 Vol.-% in der Füllstoffkomponente enthalten. Die zweite

und dritte Füllstofffraktion sind in ihrer Summe mit dem sich bis zu 100 Vol.-% fehlenden Anteil vorhanden.

Beispielsweise kann die trimodale Füllstoffkomponente etwa 70 Vol.-% eines Pulvers mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 700 µm, etwa 21 Vol.-% eines Pulvers mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 100 µm-Pulver und etwa 9 Vol.-% eines Pulvers mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 14µm enthalten.

Ein weiteres Beispiel für eine trimodale Füllstoffkomponente kann etwa 67 Vol.-% eines Pulvers mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 105 µm, etwa 10 Vol.-% eines Pulvers mit einem mittleren Partikeldurchmesser von etwa 38 µm und etwa 23 Vol.-% eines Pulvers mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 1,4 µm enthalten.

Liegt der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion im Bereich von 1 µm und 1000 µm und weisen die zweite oder dritte Füllstofffraktion Teilchen mit einem mittleren Partikeldurchmesser im nanoskaligen Bereich auf, also im Bereich von 10 nm bis 999 nm, 10 nm bis 900 nm, 10 nm bis 800 nm, 10 nm bis 700 nm, 10 nm bis 600 nm, 10 nm bis 500 nm, 10 nm bis 400 nm, 10 nm bis 300 nm, 10 nm bis 200 nm, 10 nm bis 100 nm, 20 nm bis 999 nm, 20 nm bis 900 nm, 20 nm bis 800 nm, 20 nm bis 700 nm, 20 nm bis 600 nm, 20 nm bis 500 nm, 20 nm bis 400 nm, 20 nm bis 300 nm, 20 nm bis 200 nm oder 20 nm bis 100 nm, ist grundsätzlich keine Partikeldurchmesseroptimierung erforderlich. Dies bedeutet, dass der mittlere Partikeldurchmesser von „Nanoteilchen" im angegebenen Bereich und angegebenen Größenverhältnis praktisch beliebig gewählt werden kann, da Nanoteilchen immer in die Zwickel der größeren Teilchen passen, d.h. durch die Zugabe von Nanoteilchen kann stets eine Erniedrigung der Viskosität erreicht werden.

Generell ist zu beachten, dass Pulverfraktionen immer eine gewisse Korngrößenverteilung aufweisen, so dass die Anteile je nach verwendeten Pulverfraktionen variieren können. Insge-

samt ist es wünschenswert, eine packungskoeffizient-optimierte Füllstoffkomponente mit einem Packungskoeffizient von mindestens 77 Vol.-%, bevorzugt von mehr als 80 Vol.-% (ermittelt nach Lee I.D.; Journal of Paint Technology 42, Nr. 550 (1970), 579) zu erreichen. Je höher der Füllgrad der Pulvermischung ist, desto steifer und bruchresistenter wird der Gesamtkomposit.

Während bei einer monomodalen Füllstoffkomponente oftmals ein Packungskoeffizient von nur etwa 65 Vol.-% erreicht werden kann, kann mit einer trimodalen Füllstoffkomponente oftmals ein Packungskoeffizient von 85 Vol.-% und größer erreicht werden.

Erfindungsgemäß können die zweite Füllstofffraktion und die dritte Füllstofffraktion jeweils aus jedem geeigneten Pulver oder jeder geeigneten Pulvermischung ausgewählt sein. Die zweite Füllstofffraktion ist ausgewählt aus wenigstens einem Mitglied der Gruppe bestehend aus nativem amorphem Quarzgut, epoxyfunktionalisiertem amorphem Quarzgut, Quarzmehl, Aluminiumoxid, Dolomit, Kreide, Glasperlen, Bornitrid, Wollastonit (nadelförmig), Zeolith und Polysiloxan, und ist die dritte Füllstofffraktion ausgewählt aus wenigstens einem Mitglied der Gruppe bestehend aus nativem amorphem Quarzgut, epoxyfunktionalisiertem amorphem Quarzgut, Aluminiumoxid, Zeolith und Polysiloxan.

Von diesen Elementen ist für viele Anwendungsfälle für die zweite und/oder die dritte Füllstofffraktion amorphes natives oder epoxyfunktionalisiertes Quarzgut bevorzugt.

Ebenso ist auch die Verwendung von einem oder mehreren Zeolithen in der zweiten und/oder dritten Füllstofffraktion von Vorteil. Es ist möglich, expansive Füllstoffe (wie z.B. Quarzgut) mit thermisch kontrahierenden Füllstoffen (wie z.B. Zeolithen) zu kombinieren. Hierdurch lässt sich gleichsam die thermische Expansion aufgrund eines thermisch expandierenden Füllstoffs durch die thermische Kontraktion eines thermisch

kontrahierenden Füllstoffs zumindest teilweise kompensieren. Die Erfinder der vorliegenden Erfindung konnten durch eine Kombination aus einem oder mehreren thermisch kontrahierenden Füllstoffen und einem oder mehreren thermisch expandierenden Füllstoffen Epoxidharzkomposite herstellen, die einen LCTE von etwa 16 ppm/°C besitzen, was der Ausdehnung von Kupfer entspricht. Hierdurch lässt sich die Gefahr von Rissbildung aufgrund eines thermischen Schocks in erheblichem Maße verringern oder sogar ausschließen.

Wie Versuche ergeben haben, ist es für eine besonders hohe Bruchresistenz von Vorteil, wenn als zweite und/oder dritte Füllstofffraktion ein temperaturstabiles, polymeres Füllstoffmaterial verwendet wird, beispielsweise ein temperaturstabiles Polysiloxan in Pulverform. Hierdurch sinkt die Viskosität der Mischung und gleichzeitig erhöht sich die Bruchresistenz des fertigen Komposit. Nach der derzeitigen Einschätzung der Erfinder könnte die Ursache hierfür sein, dass die relativ „weichen" Polysiloxan-Partikel (im Vergleich zu anderen, „härteren" Partikeln) sich positiv auf die Rissresistenz auswirken. Um diese positiven Wirkungen von Polysiloxan zu erreichen, kann eine Zugabemenge von etwa 0,1 Gew.-% bis 15 Gew.-%, bevorzugt 1 Gew.-% bis 10 Gew.-% bezogen auf die Gesamtmasse der Füllstoffkomponente ausreichend sein.

Für die erfindungsgemäße Vergussmasse können beispielsweise in vorteilhafter Weise als erste Füllstofffraktion ein Quarzgut, bevorzugt ein epoxyfunktionalisiertes Quarzgut, mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 100 µm bis 200 µm, als zweite Füllstofffraktion ein Polysiloxan-Pulver mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 30 µm bis 65 µm, und als dritte Füllstofffraktion ein Quarzgut, bevorzugt ein epoxyfunktionalisiertes Quarzgut, mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 12 µm bis 25 µm verwendet werden.

Beispielsweise kann bei dem gerade erwähnten Beispiel für eine trimodale Füllstoffkomponente für eine erfindungsgemäße Vergussmasse die erste Füllstofffraktion (Quarzgut, bevorzugt ein epoxyfunktionalisiertes Quarzgut, mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 100 µm bis 200 µm) mit einem Anteil von etwa 60 Vol.-% bis 70 Vol.-%, die zweite Füllstofffraktion (Polysiloxan-Pulver mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 30 µm bis 65 µm) mit einem Anteil von etwa 5 Vol.-% bis 10 Vol.-% und die dritte Füllstofffraktion (Quarzgut, bevorzugt ein epoxyfunktionalisiertes Quarzgut, mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 12 µm bis 25 µm) mit einem Anteil von etwa 20 Vol.-% bis 35 Vol.-% (Summe jeweils 100 Vol.-%) vorhanden sein.

Ein weiteres bevorzugtes Beispiel für eine mehrmodale Füllstoffkomponente umfasst als erste Füllstofffraktion natives und/oder epoxyfunktionalisiertes amorphes Quarzgut, und als zweite Füllstofffraktion wenigstens ein Mitglied aus der Gruppe bestehend aus nativem amorphem Quarzgut, epoxyfunktionalisiertem amorphem Quarzgut, Quarzmehl, Aluminiumoxid, Dolomit, Kreide, Glasperlen, Bornitrid und Wollastonit. Die Teilchen in der ersten und zweiten Füllstofffraktion haben in bevorzugter Weise eine im Wesentlichen sphärische (globulare) Form.

Als kommerziell erhältliches Beispiel, mit dem durch nur ein Produkt die erste und die zweite Füllstofffraktion erhältlich ist, und das somit auch für eine bimodale Füllstoffkomponente geeignet ist, ist SILBOND 126 EST der Quarzwerke GmbH. Dieses epoxyfunktionalisierte Quarzmehl weist eine obere Korngröße $d_{95\%}$ von 94 µm und eine mittlere Korngröße $d_{50\%}$ von 22 µm auf.

Weiter umfasst die mehrmodale Füllstoffkomponente gemäß diesem Beispiel eine dritte Füllstofffraktion, die Polysiloxan-Teilchen mit einem Partikeldurchmesser von etwa 100 nm bis 150 µm aufweist. Ein geeignetes Beispiel für eine mikroskalige dritte Füllstofffraktion sind Polysiloxan-Partikel

mit einem Durchmesser im Bereich von 2 µm bis 150 µm ($d_{50\%}$ = 20 bis 40 µm) oder für eine nanoskalige dritte Füllstofffraktion im Bereich von etwa 100 nm bis 400 nm ($d_{50\%}$ = 200 nm bis 250 nm). Die dritte Füllstofffraktion kann auch aus einem derartigen mikroskaligen und einem nanoskaligen Anteil ausgebildet sein.

Der Anteil der Polysiloxan-Füllstofffraktion an der Gesamtmenge der Füllstoffkomponente beträgt gemäß diesem bevorzugten Beispiel zwischen 0,1 Gew.-% und 15 Gew.-%, bevorzugt zwischen 1 Gew.-% und 10 Gew.-%, besonders bevorzugt zwischen 1 Gew.-% und 5 Gew.-%.

Die mehrmodale Füllstoffkomponente gemäß diesem bevorzugten Beispiel weist einen maximalen Packungskoeffizienten (bestimmt nach Lee I.D.) von 77 Vol.-% oder höher auf, etwa 78 Vol.-%, 79 Vol.-%, 80 Vol.-%, 81 Vol.-%, 82 Vol.-% oder 83 Vol.-%.

Der Anteil der Füllstoffkomponente an der Gesamtmenge der Vergussmasse beträgt bei diesem bevorzugten Beispiel von 60 Gew.-% bis 80 Gew.-%.

Die Zugabe von Polysiloxan-Teilchen zu der Harzkomponente kann auf jede geeignete Weise erfolgen. Beispielsweise können mit Hilfe von einem oder mehreren Epoxidbatches deagglomerierte Polysiloxan-Teilchen eingebracht werden. Als kommerziell erhältliches, verwendbares Beispiel hierfür sei KANE ACE® MX 960 von Kaneka Texas Corporation erwähnt.

Die Zugabe von Polysiloxan-Teilchen zu der Harzkomponente kann in geeigneter Weise aber auch durch ein Einbringen von trockenem Polysiloxan-Pulver erfolgen. Als kommerziell erhältliches, verwendbares Beispiel hierfür sei das Schlagzähadditiv RESIN MODIFIER 4-7081® der DOW CORNING Corporation erwähnt.

Beispiel:

Einer Mischung aus Bisphenol-A-Diglycidylether und Diphenylmethandiisocyanat (MDI, Isocyanat-Gehalt ca. 26% Gew.-%) wurde bei 80°C eine Stunde evakuiert, bis das Aufsteigen von gasförmigen Produkten zum Erliegen kam. Sodann wurden 61 Gew.-% amorphes, mikroskalig-dimensioniertes, epoxyfunktionalisiertes Quarzgut SILBOND 126 EST (mittlerer Partikeldurchmesser ca. 22 µm) unter Rühren eindispergiert und anschließend für eine weitere Stunde unter Rühren entgast. Dieser Mischung wurden 4 Gew.-% aminischer Beschleuniger (bezogen auf die füllstofffreie Harzmischung) zugegeben, weitere 20 min bei 80°C unter Vakuum gerührt und sodann Prüfkörper in Werkzeugen gegossen. Dabei wurde zunächst bei 80°C geliert, drei Stunden isotherm gehalten, auf 120°C erhöht und drei Stunden isotherm gehalten, auf 160°C erhöht und drei Stunden isotherm gehalten, sodann auf 205°C erhöht und drei Stunden isotherm gehalten, und anschließend auf Raumtemperatur abgekühlt, um vollständig ausgehärtete Duromer-Prüflinge sattgelben Erscheinungsbildes zu erhalten. Die Probekörper wurden auf elektrische, bruch- und thermomechanische Kennwerte hin untersucht. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle

Eigenschaft	Einheit	Wert	Bestimmungsmethode
Elastizitätsmodul E	[MPa]	11228 ± 476	Biegeprüfung, 80x4x10 mm^3, 2mm/min
Biegefestigkeit σ_{max}	[MPa]	138,4 ± 6,3	Biegeprüfung, 80x4x10 mm^3, 2mm/min
Bruchdehnung ε_{max}	[%]	1,24 ± 0,06	Biegeprüfung, 80x4x10 mm^3, 2mm/min
Thermische, lineare Ausdehnung α	[ppm/°C]	25	TMA, 2x2x2 mm^3 Kubus, -50°C bis 250°C
Kritischer Spannungsintensitätsfaktor K_{IC}	[$MPa \cdot m^{0.5}$]	1,81 ± 0,07	Double Torsion, 80x34x4 mm^3
Kritische Bruchenergie G_{IC}	[J/m^2]	267 ± 21	Double Torsion, 80x34x4 mm^3

Eigenschaft	Einheit	Wert	Bestimmungsmethode
Dichte ρ, Raumtemperatur	[g/cm³]	1,69	Archimedes Auftriebprinzip
Wärmeleitfähigkeit λ	[W/m·K]	0,55 - 0,75 (RT) (240°C)	Laserflashanalyse, 8x8x2 mm³
Glasübergangstemperatur T_G	[°C]	~260	DMTA
Speichermodul E'	[MPa]	10200 - 6000 (RT) (250°C)	DMTA
Verlustmodul E''	[MPa]	200 - 300 (RT) (250°C)	DMTA
mechanischer Verlustfaktor tan δ	[-]	0,05 (250°C)	DMTA
Charpy-Schlagzähigkeit a	[kJ/m²]	9,7 ± 4,1	ungekerbt, 4J-Pendel, 10x15x120 mm³
Durchgangswiderstand nativ	[Ω·cm]	$5x10^{15}$	1 kV/mm Platte
Durchgangswiderstand 14 Tage bei 220°C	[Ω·cm]	$9x10^{14}$	1 kV/mm Platte
Teilentladungserosion	[mm³]	0,75 ± 0,3	Töplertest, 6.5 kV/mm, poliert

Prepolymere Vergußmassen mit unterschiedlichem Füllstoffgehalt wurden viskosimetrisch mittels Searle-Geometrie bei 80°C charakterisiert. Die dynamischen Viskositäten dieser quarzgefüllten, prepolymeren Vergussmassen sind in der Figur dargestellt.

Die für die erfindungsgemäße Vergussmasse verwendbaren Harzkomponenten, Härterkomponenten und Füllstoffe sind entweder kommerziell erhältlich oder können durch Mischen von geeigneten, kommerziell erhältlichen Ausgangskomponenten durch einen Fachmann leicht selbst hergestellt werden.

Wärmeklasse H/200°C (Wärmeklasse N)-Materialien sind dem Fachmann bekannt und dienen seit langem der Bereitung von hochwärmestabilen Laminatkompositen, insbesondere bei Traktionsmaschinen. Dazu zählen etwa die additivvernetzenden, warmhärtenden Silikonharze und/oder Polyesterharze für die genannten Tränk- und Imprägnieranwendungen. Diese Materialien

haben den Nachteil, dass sie in dicken Schichten nicht härtbar sind, ohne Risse zu erzeugen. Polyesterharze etwa zeigen aufgrund Ihres Reaktionsschwunds ausgeprägte Sprödigkeit und sind deshalb nur zur Beträufelung und Durchtränkung von Glimmerlaminaten verwendbar.

Silikonharze dagegen zeichnen sich dadurch aus, dass sie nahezu keinen Reaktionsschwund besitzen. Aufgrund der hohen thermischen Ausdehnung sind sie jedoch zum Verguss großer Bauteile unbrauchbar. Für akzeptable Gelierzeiten sind Temperaturen von mindestens 160°C anzuwenden, gefolgt von einer 12 bis 16-stündigen Härtungsperiode. Bei Abkühlung auf Raumtemperatur schrumpft die vergossene Isolation gemäß des zugrundeliegenden, thermischen Ausdehnungskoeffizienten um beachtliche Maße. Da Silikonharze auch nur geringe bruchmechanische Resistenzen aufweisen, kommt es bei diesem Abkühlvorgang an Stufen und Kanten, z.B. am Nutausgang bzw. Wickelkopfbereich, zu mechanischen Belastungen, die zum Abreißen des Werkstoffes führen und so die Isolation am feldkonzentriertesten Teil elektrisch unbrauchbar machen.

Auch füllstoffangereicherte Silikonharze weisen (lineare) thermische Ausdehnungskoeffizienten LCTE im Bereich von 90-110 ppm/°C auf. So zeigt etwa sogar die Beaufschlagung von additivvernetzendem, wärmehärtendem Silikonharz mit 50 Gew.-% amorphem Quarzgut (engl. Fused Silica mit LCTE ca. 0,6 ppm/°C) im gehärteten Zustand immer noch einen Gesamt-LCTE von ca. 100 ppm/°C. Dies entspricht bei einer Statornutlänge von 500 mm etwa einer thermischen Kontraktion um ca. 8mm. Bei Verwendung anderer Füllstoffe (Quarzmehl, Dolomit, Aluminiumoxid etc.) sind die LCTE-Werte bei gleicher Füllstoffbeladung weitaus höher, sodass für vergleichbare Kompositausdehnungen Füllgrade von 80 Gew.-% und/oder höher nötig sind. Es ist dann mit sehr hohen dynamischen Verarbeitungsviskositäten zu rechnen, die einen Verguss dünnspaltiger Geometrien erschweren können.

Durch die vorliegende Erfindung wird hingegen eine im Temperaturbereich von 60 bis 80°C sehr gut vergießbare Prepolymerformulierung zur Verfügung gestellt, die als Vergussmasse für einen Rund- und/oder Flachdrahtformspulen-Statorvollverguß in elektrischen Maschinen eingesetzt werden kann und nach dem thermischen Aushärten einen Isolationswerkstoff darstellt, der eine Einstufung in die Wärmeklasse 200°C nach IEC 60034-18-31 erlaubt, dabei resistent gegen Teilentladungen und widerstandsfähig gegen Rissinitiierung ist. Zusätzlich wird durch die erfindungsgemäße Vergussmasse ein Komposit realisiert, der eine Glasübergangstemperatur von 250°C oder höher bei gleichzeitig geringer thermischer Ausdehnung aufweist und so verhindert wird, dass bei Erwärmung auf typische Betriebstemperaturen (kurzfristig bis zu 270°C) der vergossenen, elektrischen Maschine die Formbeständigkeit des Isolationswerkstoffs verloren geht. Dies ist insbesondere für das Gewährleisten des Spalts zwischen Statornutausgang und Rotor essentiell, um Kontakte während des Betriebes zu vermeiden. Die vergossenen Spulen müssen zur Ausbildung eines optimalen, magnetischen Feldes in einem definierten Abstand von ca. 0,85 mm zum Blechpaket dauerhaft eingebettet werden.

Die erfindungsgemäß bereitete Vergussmasse erlaubt die Realisierung eines gehärteten Komposits mit überaus hoher Steifigkeit. Zugleich weist sie eine vorteilhafte Bruchdehnung sowie hohe Bruchspannungskennwerte aus und erlaubt so auch den Verguss komplizierter, großer Bauteilgeometrien, wie sie bei Bahnmaschinenstatoren üblich sind.

Erfindungsgemäß wird eine Vergussmasse zur Verfügung gestellt, die eine Mischungen von Epoxidharzen auf Basis Bisphenol-A-Diglycidylether und/oder Bisphenol-F-Diglycidylether und Isocyanatderivaten des Typs MDI mit einem Gehalt an Bisphenol-Diglycidylether von 7 Gew.-% bis 30 Gew.-%, bevorzugt 9 Gew.-% bis 27 Gew.-% bezogen auf die füllstofffreie Harzformulierung aufweist, wobei zusätzlich ca. 50 Gew.-% oder mehr einer Füllstoffkomponente bezogen auf die Gesamtmasse beigemengt ist, wobei Mischungen aus Füllstofffraktio-

nen mit unterschiedlichen mittleren Partikeldurchmessern eingesetzt werden. Diese Formulierungen können mit in der Regel stickstoffbasierten Reaktionsbeschleunigern, insbesondere auf Basis tertiärer Amine und/oder latenter Katalysatoren, zur Reaktion gebracht werden, wobei hochwärmebeständige Formstoffe resultieren. Aufgrund des relativ hohen Anteils an Füllstoff, ist die thermische Ausdehnung der gehärteten Komposite mit LCTE-Werten von 30 ppm/°C oder weniger sehr gering, die dynamischen Verarbeitungsviskositäten der prepolymeren Vergussmasse bei 80°C jedoch unterhalb ca. 1000 cp bzw. 1 Pa*s.

Derartig bereitete Formstoffe besitzen außerordentliche Teilentladungsresistenz, hohe Durchgangswiderstände, geringes Wasseraufnahmevermögen, hohe Steifigkeiten, akzeptable bruchmechanische und thermophysikalische Eigenschaftskennwerte sowie ausgezeichnete Hydrolyseeigenschaften.

Durch die vorliegende Erfindung wird ein neuer und vorteilhafter, thermisch gehärteter Komposit zur Verfügung gestellt, der erhältlich aus einer erfindungsgemäßen Vergussmasse durch Polymerisieren der in der Vergussmasse enthaltenen Harzkomponente.

Aufgrund des erfindungsgemäß erhältlichen, thermisch gehärteten Komposits können neue und vorteilhafte elektrische Maschinen zur Verfügung gestellt werden, die im Bereich ihrer Statorspule und/oder ihres Wickelkopfs einen erfindungsgemäßen, thermisch gehärteten Komposit aufweisen.

Patentansprüche

1. Vergussmasse mit einer Harzkomponente enthaltend eine Mischung aus wenigstens einem Bisphenol-Diglycidylether, wenigstens einem Konstitutionsisomeren von Diphenylmethandiisocyanat oder einem Gemisch von mehreren Konstitutionsisomeren von Diphenylmethandiisocyanat und Homologen mit 3, 4 und mehr Phenylgruppen, wobei der Anteil von Bisphenol-Diglycidylether an der Harzkomponente 7 Gew.-% bis 30 Gew.-%, bevorzugt 9 Gew.-% bis 27 Gew.-% beträgt, sowie einen Reaktionsbeschleuniger mit einem Gehalt von 0,5 Gew.-% bis 15 Gew.-%, bevorzugt 3 Gew.-% bis 10 Gew.-%, bezogen auf das Gewicht der füllstofffreien Harzkomponente, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Vergussmasse eine Füllstoffkomponente beinhaltet, wobei der Anteil der Füllstoffkomponente am Gesamtgewicht der Vergussmasse 50 Gew.-% bis 95 Gew.-%, bevorzugt 60 Gew.-% bis 90 Gew.-%, besonders bevorzugt 60 Gew.-% bis 80 Gew.-% beträgt, und die Füllstoffkomponente eine erste Füllstofffraktion beinhaltet, wobei die erste Füllstofffraktion natives und/oder epoxyfunktionalisiertes amorphes Quarzgut mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm ist, und
die Füllstoffkomponente wenigstens eine zweite Füllstofffraktion aufweist, wobei die zweite Füllstofffraktion ausgewählt ist aus wenigstens einem Mitglied der Gruppe bestehend aus nativem amorphem Quarzgut, epoxyfunktionalisiertem amorphem Quarzgut, Quarzmehl, Aluminiumoxid, Dolomit, Kreide, Glasperlen, Bornitrid, Wollastonit, Zeolith und Polysiloxan mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm,
wobei der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion um wenigstens den Faktor 2,5 kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion.

2. Vergussmasse gemäß Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass sie als Bisphenol-Diglycidylether

Bisphenol-A-Diglycidylether, Bisphenol-F-Diglycidylether oder eine Mischung davon enthält.

3. Vergussmasse gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion einen Wert aus dem Bereich von 1 µm bis 1000 µm aufweist.

4. Vergussmasse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion einen Wert aus dem Bereich von 1 µm bis 1000 µm aufweist, und um den Faktor 2,5 bis 15 kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser der ersten Füllstofffraktion.

5. Vergussmasse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Füllstoffkomponente die erste und die zweite Füllstofffraktion in einem Bereich von 80 Vol.-% zu 20 Vol.-% bis zu 60 Vol.-% zu 40 Vol.-% enthält, wobei die erste Füllstofffraktion in der Füllstoffkomponente mit dem höheren angegebenen Vol.-%-Anteil enthalten ist.

6. Vergussmasse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Füllstoffkomponente wenigstens eine dritte Füllstofffraktion aufweist, wobei die dritte Füllstofffraktion ausgewählt ist aus wenigstens einem Mitglied der Gruppe bestehend aus nativem amorphem Quarzgut, epoxyfunktionalisiertem amorphem Quarzgut, Aluminiumoxid, Zeolith und Polysiloxan mit einem Wert für den mittleren Partikeldurchmesser aus dem Bereich von 10 nm bis 1000 µm,
wobei der mittlere Partikeldurchmesser der dritten Füllstofffraktion um wenigstens den Faktor 2,5 kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion.

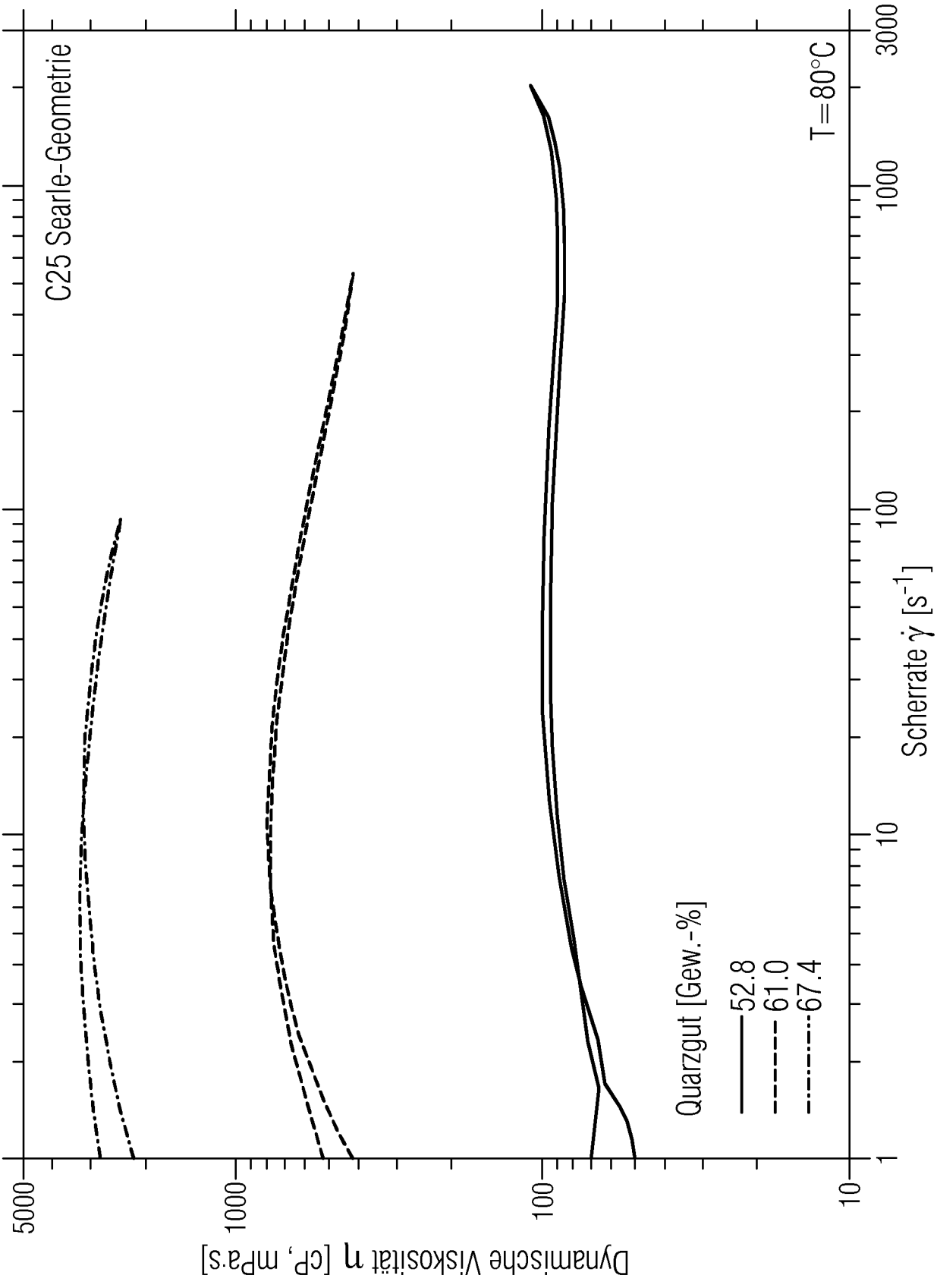
7. Vergussmasse gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere

Partikeldurchmesser der dritten Füllstofffraktion einen Wert aus dem Bereich von 1 µm bis 1000 µm aufweist und um den Faktor 2,5 bis 15 kleiner ist als der der mittleren Partikeldurchmesser der zweiten Füllstofffraktion.

8. Vergussmasse gemäß Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Füllstofffraktion in einem Bereich von 60 Vol.-% bis 80 Vol.-% in der Füllstoffkomponente enthalten ist und die zweite und dritte Füllstofffraktion in ihrer Summe mit dem sich bis zu 100 Vol.-% fehlenden Anteil enthalten sind.

9. Verwendung der Vergussmasse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 zum Verguss einer Statorspule und/oder eines Wickelkopfs für eine elektrische Maschine.

10. Thermisch gehärteter Komposit erhältlich aus der Vergussmasse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 durch Polymerisieren der in der Vergussmasse enthaltenen Harzkomponente.


C25 Searle-Geometrie
T=80°C
Dynamische Viskosität η [cP, mPa.s]
Scherrate γ̇ [s-1]
5000
1000
100
10
1
10
100
1000
3000
Quarzgut [Gew.-%]
52.8
61.0
67.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/055414

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C08G18/76 C08G18/16 C08G18/32 C08K3/36
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C08G C08K

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 101 783 A2 (VANTICO AG [CH] HUNTSMAN ADV MAT SWITZERLAND [CH]) 23 May 2001 (2001-05-23) paragraphs [0010], [0011], [0026] - [0032], [0050]; example 1	1-10
Y	WO 2012/158291 A1 (DOW GLOBAL TECHNOLOGIES LLC [US]; ESSEGHIR MOHAMED [US]; HARRIS WILLIA) 22 November 2012 (2012-11-22) claims 1-14; examples 1-6; table I	1-10
Y	EP 2 402 958 A1 (SIEMENS AG [DE]) 4 January 2012 (2012-01-04) claims 1-2,4-8; example 1; table 1	1-10

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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	Date of mailing of the international search report
11 July 2014	21/07/2014

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Scheuer, Sylvie

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/055414

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2011/095208 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]; KORNMANN XAVIER [DE]; SCHMIDT LARS E [CH]; KRIV) 11 August 2011 (2011-08-11) page 18, line 25 - line 30; claim 1; tables 1-2 -----	1-10

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2014/055414

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1101783 A2	23-05-2001	AT 285425 T	15-01-2005
		AU 7146000 A	24-05-2001
		CA 2326462 A1	22-05-2001
		CN 1296994 A	30-05-2001
		DE 60016879 D1	27-01-2005
		DE 60016879 T2	05-01-2006
		EP 1101783 A2	23-05-2001
		JP 2001187813 A	10-07-2001
		KR 20010051852 A	25-06-2001
		US 6602936 B1	05-08-2003
		ZA 200006760 A	22-05-2001
WO 2012158291 A1	22-11-2012	CA 2835651 A1	22-11-2012
		CN 103649158 A	19-03-2014
		EP 2707411 A1	19-03-2014
		KR 20140040150 A	02-04-2014
		TW 201307421 A	16-02-2013
		US 2014079953 A1	20-03-2014
		WO 2012158291 A1	22-11-2012
EP 2402958 A1	04-01-2012	DE 102010019723 A1	10-11-2011
		EP 2402958 A1	04-01-2012
WO 2011095208 A1	11-08-2011	CN 102725802 A	10-10-2012
		EP 2532010 A1	12-12-2012
		US 2013203897 A1	08-08-2013
		WO 2011095208 A1	11-08-2011

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/055414

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. C08G18/76 C08G18/16 C08G18/32 C08K3/36
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
C08G C08K

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 101 783 A2 (VANTICO AG [CH] HUNTSMAN ADV MAT SWITZERLAND [CH]) 23. Mai 2001 (2001-05-23) Absätze [0010], [0011], [0026] - [0032], [0050]; Beispiel 1	1-10
Y	WO 2012/158291 A1 (DOW GLOBAL TECHNOLOGIES LLC [US]; ESSEGHIR MOHAMED [US]; HARRIS WILLIA) 22. November 2012 (2012-11-22) Ansprüche 1-14; Beispiele 1-6; Tabelle I	1-10
Y	EP 2 402 958 A1 (SIEMENS AG [DE]) 4. Januar 2012 (2012-01-04) Ansprüche 1-2,4-8; Beispiel 1; Tabelle 1	1-10

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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
11. Juli 2014	21/07/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Scheuer, Sylvie

1

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2011/095208 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]; KORNMANN XAVIER [DE]; SCHMIDT LARS E [CH]; KRIV) 11. August 2011 (2011-08-11) Seite 18, Zeile 25 - Zeile 30; Anspruch 1; Tabellen 1-2 -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/055414

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1101783 A2	23-05-2001	AT 285425 T	15-01-2005
		AU 7146000 A	24-05-2001
		CA 2326462 A1	22-05-2001
		CN 1296994 A	30-05-2001
		DE 60016879 D1	27-01-2005
		DE 60016879 T2	05-01-2006
		EP 1101783 A2	23-05-2001
		JP 2001187813 A	10-07-2001
		KR 20010051852 A	25-06-2001
		US 6602936 B1	05-08-2003
		ZA 200006760 A	22-05-2001
WO 2012158291 A1	22-11-2012	CA 2835651 A1	22-11-2012
		CN 103649158 A	19-03-2014
		EP 2707411 A1	19-03-2014
		KR 20140040150 A	02-04-2014
		TW 201307421 A	16-02-2013
		US 2014079953 A1	20-03-2014
		WO 2012158291 A1	22-11-2012
EP 2402958 A1	04-01-2012	DE 102010019723 A1	10-11-2011
		EP 2402958 A1	04-01-2012
WO 2011095208 A1	11-08-2011	CN 102725802 A	10-10-2012
		EP 2532010 A1	12-12-2012
		US 2013203897 A1	08-08-2013
		WO 2011095208 A1	11-08-2011