



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
27.11.2019 Patentblatt 2019/48

(51) Int Cl.:
B22F 1/00 ^(2006.01) **B22F 9/04** ^(2006.01)
H01F 1/057 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **19170743.9**

(22) Anmeldetag: **24.04.2019**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **NETZSCH Trockenmahltechnik GmbH**
95100 Selb (DE)

(72) Erfinder:
• **Winter, Frank**
35435 Winterberg OT Launsbach (DE)
• **Fernengel, Dr., Wilhelm**
63801 Kleinostheim (DE)

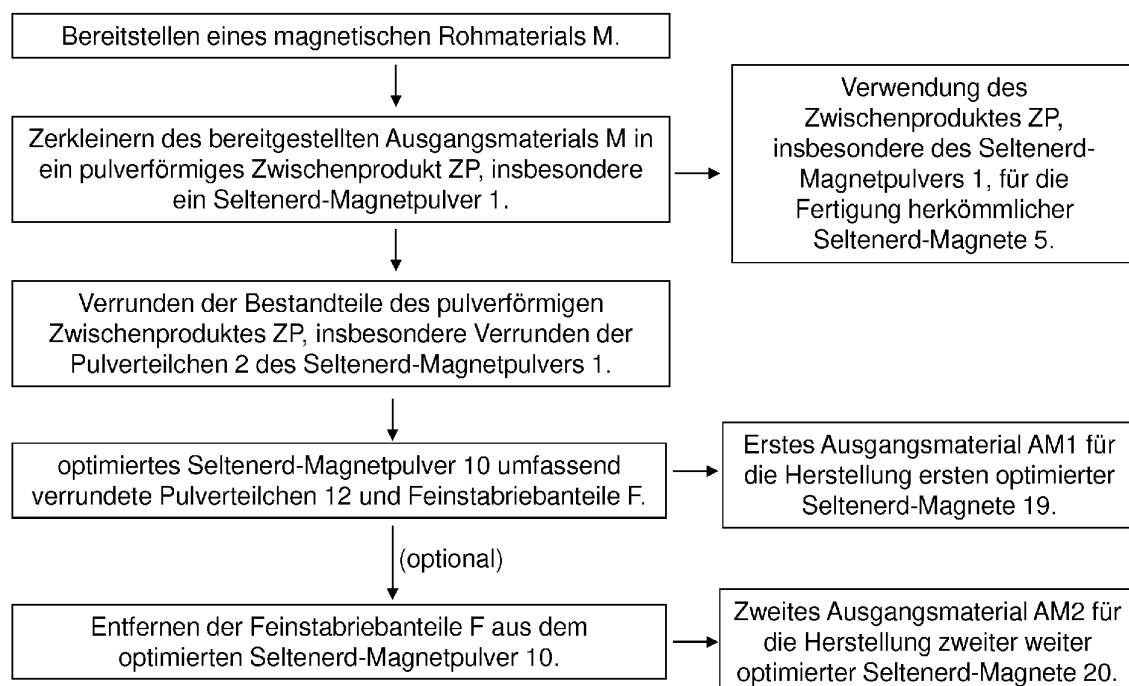
(30) Priorität: **24.05.2018 DE 102018112411**

(54) **VERFAHREN UND ANLAGE ZUR HERSTELLUNG EINES MATERIALS FÜR DIE HERSTELLUNG VON SELTENERD-MAGNETEN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Herstellung eines pulverförmigen und zur Fertigung von Seltenerd-Magneten vorgesehenen Materials. Zuerst wird mindestens ein magnetisches bzw. magnetisierbares Rohmaterial bereitgestellt und mittels herkömmlicher Zerkleinerungsmethoden in ein pulverförmiges

ges Zwischenprodukt zerkleinert, welches Pulverteilchen mit Ecken und Kanten umfasst. Anschließend werden die scharfkantigen Pulverteilchen verrundet. Das, die verrundeten Pulverteilchen umfassende, optimierte pulverförmige Produkt wird zur Fertigung von Seltenerd-Magneten verwendet.

Fig.5



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Ausgangsmaterials für die Herstellung eines Seltenerd-Magneten sowie eine Anlage zur Herstellung eines Ausgangsmaterials für die Herstellung von Seltenerd-Magneten gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche.

Stand der Technik

[0002] Ein Dauermagnet bzw. Permanentmagnet besteht aus einem magnetisierbaren Material, zum Beispiel Eisen, Kobalt oder Nickel, welches ein statisches Magnetfeld behält, ohne dass im Gegensatz zu Elektromagneten ein elektrischer Stromfluss benötigt wird. Ein Dauermagnet kann durch die Einwirkung eines Magnetfeldes auf ferromagnetisches Material erzeugt werden.

[0003] Unter dem Namen Seltenerd-Magnet wird eine Gruppe von Permanentmagneten zusammengefasst, die im Wesentlichen aus Eisenmetallen (Eisen, Cobalt, seltener Nickel) und Seltenerd-Metallen (insbesondere Neodym, Samarium, Praseodym, Dysprosium, Terbium, Gadolinium) bestehen. Seltenerd-Magneten zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine hohe magnetische Remanenzflussdichte und damit eine hohe magnetische Energiedichte aufweisen.

[0004] Permanentmagnete werden aus kristallinem Pulver hergestellt. Das Magnetpulver wird in Gegenwart eines starken Magnetfelds in eine Form gepresst. Dabei richten sich die Kristalle mit ihrer bevorzugten Magnetisierungsachse in Richtung des Magnetfelds aus. Die Presslinge werden anschließend gesintert. Beim Sintern werden die pulverisierten Bestandteile des Pulvers durch Erwärmung miteinander verbunden oder verdichtet, wobei jedoch keine oder zumindest nicht alle Ausgangsstoffe aufgeschmolzen werden. Dabei werden die Presslinge - oft unter erhöhtem Druck - derart erhitzt, dass die Temperaturen unterhalb der Schmelztemperatur der Hauptkomponenten bleiben, so dass die Gestalt (Form) des Werkstückes erhalten bleibt.

[0005] Zur Herstellung eines Materials, welches zur Fertigung von Permanentmagneten, insbesondere von Nd-Fe-B (Neodym-Eisen-Bor) Magneten, benötigt wird, ist im Stand der Technik bekannt, Seltenerdmetall umfassende Legierungen zu einem pulverförmigen Zwischenprodukt, beispielsweise in Form von Grobpulver oder Feinpulver, zu vermahlen. Zur Herstellung von pulverförmigen Zwischenprodukten eignen sich in der Regel die herkömmlichen Zerkleinerungstechniken, beispielsweise Dampfstrahlmühlen oder ähnliches.

[0006] Da die Vorkommen von Seltenerdmetallen begrenzt sind und insbesondere die Gewinnung derselben sehr teuer ist, gewinnen neben Seltenerdmetall umfassenden Legierungen zur Herstellung eines Materials für die Fertigung von Seltenerd-Magneten auch Altmagnete zunehmend an Bedeutung, welche für die Herstellung eines Materials für die Fertigung von Seltenerd-Magne-

ten wiederverwendet und/oder recycelt werden. Bei den Altmagneten handelt es sich beispielsweise um Magnete, welche in Motoren oder in Elektroaltgeräten oder dergleichen eingesetzt wurden und nicht mehr benötigt werden bzw. welche ihre gewünschten Eigenschaften und/oder ihre gewünschte Leistungsstärke nicht und/oder nicht mehr vollständig erfüllen. Insofern spricht man bei der Verwendung von Altmagneten auch von einem Recycling-Material.

[0007] Problematisch ist jedoch, dass bei der Feinmahlung von solchen Seltenerd-Magnetpulvern mit herkömmlichen Verfahren, beispielsweise in Fließbettstrahlmühlen oder ähnlichen Mahlanlagen, Pulverteilchen entstehen, die scharfe Ecken und Kanten aufweisen. Diese scharfen Ecken und Kanten sind aus verschiedensten Gründen in höchstem Maße unerwünscht, insbesondere deshalb, weil Magnete, die unter Verwendung eines solchen scharfkantigen Pulvers hergestellt wurden, schlechtere Magnetwerte bzw. geringere magnetische Energiedichten zeigen, als theoretisch zu erwarten wäre, wenn man bei den Berechnungen die Existenz von gerundeten Pulverpartikeln, d.h. ohne scharfe Ecken und Kanten, voraussetzt.

Beschreibung

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Ausgangsmaterials für die Fertigung von Seltenerd-Magneten zur Verfügung zu stellen, durch welches die in einem pulverförmigen Zwischenprodukt vorhandenen scharfen Ecken und Kanten der Pulverteilchen zumindest weitgehend auf einfache Art und Weise verringert und/oder reduziert werden, wodurch ein optimiertes Ausgangsmaterial zur Herstellung von verbesserten Seltenerd-Magneten bereitgestellt wird. Gleichzeitig soll das Verfahren zur Herstellung eines pulverförmigen Ausgangsmaterials zur Herstellung von Seltenerd-Magneten selbst optimiert werden. Weiter ist eine Anlage zur Herstellung eines Ausgangsmaterials für die Fertigung von Seltenerd-Magneten vorgesehen, mittels welcher das Verfahren zur Herstellung eines Ausgangsmaterials für die Herstellung eines Seltenerd-Magneten auf einfache Art und Weise durchgeführt werden kann und durch die ein optimiertes Ausgangsmaterial für die Herstellung eines Seltenerd-Magneten bereitgestellt werden kann.

[0009] Die obige Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung eines pulverförmigen und zur Fertigung von Seltenerd-Magneten vorgesehenen Ausgangsmaterials und eine Anlage zur Herstellung eines pulverförmigen und zur Fertigung von Seltenerd-Magneten vorgesehenen Ausgangsmaterials gelöst, die die Merkmale in den unabhängigen Patentansprüchen umfassen. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen werden durch die Unteransprüche beschrieben.

[0010] In einem ersten Schritt wird mindestens ein magnetisches bzw. magnetisierbares Rohmaterial bereitgestellt. Dabei kann es sich beispielsweise um eine Seltenerd-

erdmetall umfassende Legierung handeln. Alternativ oder zusätzlich kann magnetisches Recyclingmaterial verwendet werden, beispielsweise Altmagneten, welche in Motoren und/oder in Elektroaltgeräte eingesetzt wurden und dort jeweils für eine weitere Verwendung keinen Nutzen mehr haben. Vorzugsweise handelt es sich bei dem mindestens einen magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterial bzw. dem Recyclingmaterial um Nd-Fe-B (Neodym-Eisen-Bor) haltige Legierungen oder Nd-Fe-B (Neodym-Eisen-Bor) Magneten.

[0011] In einem nächsten Schritt erfolgt ein Zerkleinern des bereitgestellten magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterials, wobei aus dem mindestens einen magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterial ein pulverförmiges Zwischenprodukt gebildet wird. Dieses umfasst Pulverteilchen, die Ecken und Kanten aufweisen. Diese Ecken und Kanten bewirken, dass Magnete, die aus dem pulverförmigen Zwischenmaterial hergestellt werden, einen gemessenen Magnetwert bzw. einen gemessenen Wert magnetischer Energiedichte aufweisen, der deutlich unterhalb eines berechneten, theoretisch zu erwartenden Magnetwertes liegt.

[0012] Die Zerkleinerung des magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterials erfolgt dabei in einer Art und Weise, dass die dabei gebildeten Pulverteilchen des pulverförmigen Zwischenproduktes eine Partikelgröße zwischen etwa 2 μm bis 10 μm , vorzugsweise zwischen 3 μm bis 5 μm , aufweisen.

[0013] Die Zerkleinerung erfolgt insbesondere vermittelt einer Zerkleinerungseinrichtung, beispielsweise mittels herkömmlich bekannter Zerkleinerungstechniken. Eine erste Grobzerkleinerung zur Herstellung von Grobpulver mit einer Partikelgröße von circa 100 μm bis 300 μm kann beispielsweise durch den Einsatz von mechanischen Zerkleinerungsanlagen und/oder durch die Verwendung von Wasserstofftechnologie erfolgen. Für die Feinmahlung bzw. zur Herstellung von Feinpulver mit einer Partikelgröße von circa 0,1 μm bis 20 μm werden Mahlanlagen zur Feinmahlung, wie beispielsweise Fließbettstrahlmühlen oder ähnliche Mahlanlagen eingesetzt, die insbesondere unter Schutzgas betrieben werden. Bei dem verwendeten Schutzgas handelt es sich für gewöhnlich um Stickstoff oder Argon.

[0014] In einem weiteren Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Pulverteilchen des pulverförmigen Zwischenproduktes verrundet, d.h. in dem weiteren Schritt werden die Ecken und Kanten der Pulverteilchen abgerundet und/oder reduziert und/oder weitgehend abgeschliffen. Die dabei entstehenden verrundeten Pulverteilchen weisen dabei vorzugsweise im Wesentlichen dieselbe Größe auf wie die kantigen Pulverteilchen des pulverförmigen Zwischenproduktes, nämlich eine Partikelgröße zwischen etwa 2 μm bis 10 μm , vorzugsweise zwischen 3 μm bis 5 μm .

[0015] Hierfür umfasst die Anlage eine Schleifvorrichtung, die zum Verrunden der eckigen, scharfkantigen Pulverteilchen des pulverförmigen Zwischenproduktes ausgebildet ist. Die Schleifvorrichtung umfasst einen

Aufnahmeraum, in den das pulverförmige Zwischenprodukt eingefüllt wird. Dieses wird nunmehr innerhalb des Aufnahmeraums herumgewirbelt, so dass die Pulverteilchen aneinander reiben, wodurch die Ecken und Kanten reduziert und insbesondere abgeschliffen werden. Vorzugsweise erfolgt das Einfüllen in die und das Behandeln des pulverförmigen Zwischenproduktes innerhalb der Schleifvorrichtung unter Verwendung eines Schutzgases. Das pulverförmige Zwischenprodukt wird insbesondere für eine definierte Zeit, beispielsweise zwischen 30 Minuten und zwei Stunden, vorzugsweise für etwa eine Stunde in der Schleifvorrichtung bearbeitet. Der Aufnahmeraum der Schleifvorrichtung wird vorzugsweise für den Schleifprozess zu 50% bis 99% mit pulverförmigem Zwischenprodukt befüllt, insbesondere sollte das pulverförmige Zwischenprodukt mindestens 80% des Aufnahmeraums ausfüllen. Vorzugsweise wird der restliche Raum innerhalb des Aufnahmeraums der Schleifvorrichtung durch das verwendete Schutzgas ausgefüllt.

[0016] Als Schleifvorrichtung kann beispielsweise eine herkömmliche Mahlvorrichtung derart modifiziert werden, dass das pulverförmige Zwischenprodukt einerseits kräftig innerhalb der modifizierten Mahlvorrichtung herumgewirbelt wird, so dass die Pulverteilchen aneinander reiben. Andererseits darf bei dem Schleifprozess keine weitere Vermahlung des pulverförmigen Zwischenproduktes stattfinden, das zu frischen scharfen Bruchkanten führen würde. Dieser schonende Schleifprozess wird beispielsweise dadurch erreicht, dass die Schleifvorrichtung / modifizierte Mahlvorrichtung mit einem niedrigen Gasdruck, insbesondere mit einem Gasdruck zwischen 0,25 bar und 1,00 bar betrieben wird. Der Gasdruck muss dabei insbesondere derart angepasst werden, dass die Pulverteilchen des pulverförmigen Zwischenproduktes zwar in der Schleifvorrichtung / modifizierten Mahlvorrichtung weitgehend frei beweglich sind, wobei jedoch die Energie der Pulverteilchen für eine weitere Vermahlung nicht ausreicht. Bei der Bewegung der Pulverteilchen in der Schleifvorrichtung / modifizierten Mahlvorrichtung kommt es zu Reibungseffekten zwischen den einzelnen Pulverteilchen. Diese Reibungseffekte bewirken, dass die scharfen Ecken und Kanten des pulverförmigen Zwischenproduktes deutlich abgerundet werden, wodurch ein optimiertes pulverförmiges Produkt mit verrundeten Pulverteilchen entsteht.

[0017] Dieses optimierte pulverförmige Produkt kann bereits als erstes Ausgangsmaterial zur Fertigung erster Seltenerd-Magnete verwendet werden. Die unter Verwendung des ersten Ausgangsmaterials hergestellten ersten Seltenerd-Magnete weisen deutlich bessere Magnetwerte bzw. höhere magnetische Energiedichten auf als Magnete, die aus dem oben beschriebenen pulverförmigen Zwischenprodukt gefertigt werden.

[0018] Alternativ ist vorgesehen, dass das optimierte pulverförmige Produkt in einem weiteren Verfahrensschritt einem Klassierungsprozess unterzogen wird, um die bei der Reibung der Pulverteilchen innerhalb der Schleifvorrichtung anfallenden Feinstabriebanteile aus

dem optimierten pulverförmigen Produkt zu entfernen. Dabei wird eine Fraktion gebildet, die nur noch verrundete Pulverteilchen einer Größe zwischen etwa 2 µm bis 10 µm, vorzugsweise zwischen 3 µm bis 5 µm, enthält. Wird diese Fraktion als zweites Ausgangsmaterial zur Fertigung von zweiten Seltenerd-Magneten verwendet, dann können Produkte mit weiter verbesserten Magnetwerten bzw. höheren magnetischen Energiedichten hergestellt werden.

[0019] Als Trenneinrichtung zur Klassierung des optimierten pulverförmigen Produktes in eine Feinfraktion, umfassend die Feinstabriebanteile, und eine Grobfraktion, umfassend die aus dem magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterial hergestellten gewünschten verrundeten Pulverteilchen, kann beispielsweise ein dynamischer Sichter oder ein schnell rotierender Sichter eingesetzt werden.

[0020] Experimentelle Daten zeigen, dass die ersten Seltenerd-Magnete, die unter Verwendung von verrundeten Pulverteilchen hergestellt wurden, und insbesondere die zweiten Seltenerd-Magnete, die unter Verwendung von klassierten verrundeten Pulverteilchen hergestellt wurden, bessere magnetische Eigenschaften aufweisen und insbesondere Magnetwerte bzw. magnetische Energiedichten zeigen, die näher an die theoretisch berechneten Werte herankommen.

[0021] Es sei an dieser Stelle ausdrücklich erwähnt, dass alle Aspekte und Ausführungsvarianten, die im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung erläutert wurden, gleichermaßen Teilaspekte des erfindungsgemäßen Verfahrens betreffen oder sein können. Wenn daher an einer Stelle bei der Beschreibung oder auch bei den Anspruchsdefinitionen zur erfindungsgemäßen Vorrichtung von bestimmten Aspekten und/oder Zusammenhängen und/oder Wirkungen die Rede ist, so gilt dies gleichermaßen für das erfindungsgemäße Verfahren. In umgekehrter Weise gilt dasselbe, so dass auch alle Aspekte und Ausführungsvarianten, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläutert wurden, gleichermaßen Teilaspekte der erfindungsgemäßen Vorrichtung betreffen oder sein können. Wenn daher an einer Stelle bei der Beschreibung oder auch bei den Anspruchsdefinitionen zum erfindungsgemäßen Verfahren von bestimmten Aspekten und/oder Zusammenhängen und/oder Wirkungen die Rede ist, so gilt dies gleichermaßen für die erfindungsgemäße Vorrichtung.

Figurenbeschreibung

[0022] Im Folgenden sollen Ausführungsbeispiele die Erfindung und ihre Vorteile anhand der beigefügten Figuren näher erläutern. Die Größenverhältnisse der einzelnen Elemente zueinander in den Figuren entsprechen nicht immer den realen Größenverhältnissen, da einige Formen vereinfacht und andere Formen zur besseren Veranschaulichung vergrößert im Verhältnis zu anderen Elementen dargestellt sind.

Figur 1 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines herkömmlich hergestellten Seltenerd-Magnetpulvers.

Figur 2 zeigt beispielhaft schematisch dargestellte Einzelpartikel eines herkömmlich hergestellten Seltenerd-Magnetpulvers.

Figur 3 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines optimierten Ausgangsmaterials zur Herstellung von Seltenerd-Magneten.

Figur 4 zeigt beispielhaft schematisch dargestellte Einzelpartikel des optimierten Ausgangsmaterials.

Figur 5 zeigt einzelne Verfahrensschritte zur Herstellung eines optimierten Seltenerd-Magnetpulvers zur Fertigung von Seltenerd-Magneten, basierend auf mindestens einem magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterial.

Figur 6 zeigt schematisch eine Anlage zur Herstellung eines pulverförmigen und zur Fertigung von Seltenerd-Magneten vorgesehenen Ausgangsmaterials.

[0023] Für gleiche oder gleich wirkende Elemente der Erfindung werden identische Bezugszeichen verwendet. Ferner werden der Übersicht halber nur Bezugszeichen in den einzelnen Figuren dargestellt, die für die Beschreibung der jeweiligen Figur erforderlich sind. Die dargestellten Ausführungsformen stellen lediglich Beispiele dar, wie die erfindungsgemäße Vorrichtung oder das erfindungsgemäße Verfahren ausgestaltet sein können und stellen keine abschließende Begrenzung dar.

[0024] Figur 1 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines herkömmlich hergestellten Seltenerd-Magnetpulvers und Figur 2 zeigt beispielhaft schematisch dargestellte Einzelpartikel 2 eines solchen herkömmlich hergestellten Seltenerd-Magnetpulvers 1. Die Herstellung des Seltenerd-Magnetpulver 1 erfolgt beispielsweise durch Vermahlen eines entsprechenden Rohmaterials. Bei dem magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterial kann es sich um Legierungen umfassend ferromagnetische Metalle, beispielsweise Eisen, Nickel, Cobalt, insbesondere eine Legierung aus Neodym, Eisen und Bor (NdFeB), oder aber um Altmagnete oder Mischungen aus Seltenerd-Legierungen und Altmagneten handeln. Dabei wird das magnetische bzw. magnetisierbare Rohmaterial beispielsweise in Fließbettstrahlmühlen oder ähnlichen Mahlanlagen derart vermahlen, dass ein feines Seltenerd-Magnetpulver 1 entsteht, bei dem die durchschnittliche Partikelgröße (d50-Wert) der Pulverteilchen 2 zwischen 2 µm bis 10 µm, vorzugsweise zwischen 3 µm bis 5 µm liegt.

[0025] Wie in den Figuren 1 und 2 deutlich zu erkennen ist, enthält dieses Seltenerd-Magnetpulver 1 Pulverteilchen 2 mit scharfen Ecken 3 und Kanten 4. Wird dieses

herkömmlich hergestellte Seltenerd-Magnetpulver 1 nunmehr zur Magnetherstellung verwendet, so entstehen Magnete 5 (vergleiche Figur 5), deren Magnetwerte bzw. magnetische Energiedichten deutlich unterhalb der theoretisch berechneten Werte liegen.

[0026] Figur 3 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines zweiten optimierten Ausgangsmaterials AM2 zur Herstellung von Seltenerd-Magneten 20 - vergleiche hierzu auch die Figurenbeschreibung von Figur 5 - und Figur 4 zeigt beispielhaft schematisch dargestellte Einzelpartikel 12, 12a, 12b des zweiten optimierten Ausgangsmaterials AM 2.

[0027] Das zweite optimierte Ausgangsmaterial AM2 wird insbesondere durch ein Verfahren hergestellt, wie es im Zusammenhang mit Figur 5 nachfolgend detailliert beschrieben wird. Das zweite optimierte Ausgangsmaterial AM2 enthält insbesondere Pulverteilchen 12, die im Vergleich zu den Pulverteilchen 2 des Seltenerd-Magnetpulvers 1 nur eine deutlich reduzierte Anzahl an abgerundeten Ecken 13 und abgerundeten Kanten 14 aufweisen, insbesondere angerundete und/oder abgerundete Pulverteilchen 12a bzw. gerundete Pulverteilchen 12b.

[0028] Figur 5 zeigt einzelne Verfahrensschritte zur Herstellung eines optimierten Ausgangsmaterials AM1, AM2, insbesondere eines optimierten Seltenerd-Magnetpulvers 10 oder eines durch zusätzliche Klassierung weiter optimierten Seltenerd-Magnetpulvers, zur Fertigung von Seltenerd-Magneten 19, 20, basierend auf mindestens einem magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterial M. Figur 6 zeigt schematisch eine Anlage 25 zur Herstellung eines pulverförmigen und zur Fertigung von Seltenerd-Magneten 20 vorgesehenen Ausgangsmaterials AM2.

[0029] In einem ersten Verfahrensschritt wird mindestens ein magnetisches bzw. magnetisierbares Rohmaterial M bereitgestellt. Bei dem mindestens einen magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterial M handelt es sich vorzugsweise um Seltenerd-Legierungen und/oder um Altmagnete, insbesondere um Nd-Fe-B-Legierungen und/oder Nd-Fe-B-Altmagnete.

[0030] In einem nächsten Verfahrensschritt wird das bereitgestellte mindestens eine magnetische bzw. magnetisierbare Rohmaterial M zerkleinert, wobei aus dem mindestens einen magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterial M ein pulverförmiges Zwischenprodukt ZP, insbesondere ein Seltenerd-Magnetpulver 1 mit Pulverteilchen 2 mit Ecken 3 und Kanten 4 gemäß den Figuren 1 und 2 entsteht.

[0031] Die Zerkleinerung erfolgt vermittelt einer Zerkleinerungseinrichtung 30, beispielsweise vermittelt herkömmlich bekannter Zerkleinerungstechniken. Eine erste Grobzerkleinerung zur Herstellung von Grobpulver mit einer Partikelgröße von circa 100 µm bis 300 µm kann beispielsweise durch den Einsatz von mechanischen Zerkleinerungsanlagen, wie Mühlen 31 und/oder durch die Verwendung von Wasserstofftechnologie erfolgen. Für die Feinmahlung bzw. zur Herstellung von

Feinpulver mit einer Partikelgröße von circa 0,1 µm bis 20 µm werden Mahlanlagen zur Feinmahlung, wie beispielsweise Fließbettstrahlmühlen 32 oder ähnliche Mahlanlagen eingesetzt, die insbesondere unter Schutzgas S betrieben werden. Bei dem verwendeten Schutzgas handelt es sich für gewöhnlich um Stickstoff oder Argon. Ein derartig hergestelltes Seltenerd-Magnetpulver 1 wird beispielsweise zur Herstellung herkömmlicher Seltenerd-Magnete 5 verwendet. In einem weiteren Verfahrensschritt wird nunmehr dieses Seltenerd-Magnetpulver 1 unter Schutzgas S in eine Schleifvorrichtung 40 eingefüllt und dann in dieser Schleifvorrichtung 40 unter Schutzgas S eine definierte Zeitspanne bewegt. Dabei werden die Pulverteilchen 2 des Seltenerd-Magnetpulvers 1 innerhalb der Schleifvorrichtung 40 herumgewirbelt. Vorzugsweise liegt die definierte Zeitspanne für diesen Verfahrensschritt zwischen 0,5 Stunden und 3 Stunden, insbesondere bei circa einer Stunde.

[0032] Der Aufnahmeraum der Schleifvorrichtung 40 wird dabei nicht vollständig mit Seltenerd-Magnetpulver 1 befüllt. Vorzugsweise wird der Aufnahmeraum derart befüllt, dass das Seltenerd-Magnetpulver 1 zwischen 50% und 99% des Mahlraums ausfüllt. Insbesondere wird der Aufnahmeraum derart befüllt, dass das Seltenerd-Magnetpulver 1 mindestens 80% des Aufnahme- raums ausfüllt. Die restlichen 20% des Mahlraums werden durch Schutzgas S ausgefüllt.

[0033] In der Schleifvorrichtung 40 wird das Seltenerd-Magnetpulver 1 kräftig herumgewirbelt, wodurch die Ecken 3 und Kanten 4 der Pulverteilchen 2 durch gegenseitige Reibung der Pulverteilchen 2 untereinander aneinander abgeschliffen werden. Dadurch entsteht ein optimiertes Seltenerd-Magnetpulver 10 mit verrundeten Pulverteilchen 12 gemäß Figuren 3 und 4. In der Schleifvorrichtung 40 erfolgt insbesondere keine weitere Vermahlung des Seltenerd-Magnetpulvers 1, so dass keine frischen scharfen Ecken 3 und Bruchkanten 4 entstehen können.

[0034] Die Schleifvorrichtung 40 wird vorzugsweise mit einem geringen Gasdruck betrieben, beispielsweise mit einem Gasdruck zwischen 0,25 bar und 1,00 bar. Der Gasdruck muss dabei jeweils so angepasst werden, dass das Zwischenprodukt ZP beziehungsweise Seltenerd-Magnetpulver 1 zwar in der Schleifvorrichtung 40 herumgewirbelt werden kann, so dass die Pulverteilchen 2 aneinander reiben, wodurch die Ecken 3 und Kanten 4 abgerieben und verrundete Pulverteilchen 12 gemäß Figuren 3 und 4 gebildet werden. Die Energie der Pulverteilchen 2 und 12 darf dabei jedoch nicht für eine weitere Vermahlung ausreichen. Vorzugsweise wird das herkömmlich hergestellte Seltenerd-Magnetpulver 1 so lange in der Schleifvorrichtung 40 behandelt, bis weitgehend nur noch gerundete Pulverteilchen 12b gemäß Figur 4 vorhanden sind.

[0035] Durch das Verrunden entsteht ein optimiertes Seltenerd-Magnetpulver 10, das nunmehr bereits als erstes Ausgangsmaterial AM1 für die Herstellung von ersten optimierten Seltenerd-Magneten 19 verwendet

werden kann. Das optimierte Seltenerd-Magnetpulver 10 enthält neben den verrundeten Pulverteilchen 12 - vergleiche auch Figuren 3 und 4 - jedoch noch Feinstabriebanteile F, die insbesondere den Abrieb der Ecken 3 und Kanten 4 der Pulverteilchen 2 des Seltenerd-Magnetpulvers 1 darstellen. In einem optionalen Verfahrensschritt werden diese Feinstabriebanteile F entfernt, um ein weiter optimiertes zweites Ausgangsmaterial AM2 für die Herstellung von zweiten weiter optimierten Seltenerd-Magneten 20 herzustellen. Vorzugsweise werden die Feinstabriebanteile F entfernt, indem das erste optimierte Seltenerd-Magnetpulver 10 nachfolgend in einer Trenneinrichtung 50, beispielsweise einem schnell rotierenden, dynamischen Sieb 51, klassiert wird, so dass das zweite Ausgangsmaterial AM2 für die Herstellung von zweiten weiter optimierten Seltenerd-Magneten 20 nur noch verrundete Pulverteilchen 12 enthält.

[0036] Es konnte experimentell nachgewiesen werden, dass erste optimierte Seltenerd- Magnete 19 und insbesondere zweite weiter optimierte Seltenerd- Magnete 20 Magnetwerte bzw. magnetische Energiedichten aufweisen, die höher sind als die Magnetwerte bzw. magnetische Energiedichten von Seltenerd-Magneten 5, die aus einem herkömmlich hergestellten Seltenerd- Magnetpulver 1 gefertigt werden. Insbesondere weisen die zweiten Seltenerd-Magnete 20 aus einem zweiten optimierten Ausgangsmaterial AM2 einen Magnetwert bzw. einen Wert der magnetischen Energiedichte auf, der sich deutlich an einen theoretisch berechneten optimalen Wert annähert.

[0037] Die Ausführungsformen, Beispiele und Varianten der vorhergehenden Absätze, die Ansprüche und die Figuren, einschließlich ihrer verschiedenen Ansichten oder jeweiligen individuellen Merkmale, können unabhängig voneinander oder in beliebiger Kombination verwendet werden. Merkmale, die in Verbindung mit einer Ausführungsform beschrieben werden, sind für alle Ausführungsformen anwendbar, sofern die Merkmale nicht unvereinbar sind.

[0038] Wenn auch im Zusammenhang der Figuren generell von "schematischen" Darstellungen und Ansichten die Rede ist, so ist damit keineswegs gemeint, dass die Figurendarstellungen und deren Beschreibung hinsichtlich der Offenbarung der Erfindung von untergeordneter Bedeutung sein sollen. Der Fachmann ist durchaus in der Lage, aus den schematisch und abstrakt gezeichneten Darstellungen genug an Informationen zu entnehmen, die ihm das Verständnis der Erfindung erleichtern, ohne dass er etwa aus den gezeichneten und möglicherweise nicht exakt maßstabsgerechten Größenverhältnissen der Pulverteilchen oder anderer gezeichneter Elemente in irgendeiner Weise in seinem Verständnis beeinträchtigt wäre. Die Figuren ermöglichen es dem Fachmann als Leser somit, anhand der konkreter erläuterten Umsetzungen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der konkreter erläuterten Funktionsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein besseres Verständnis für den in den Ansprüchen sowie im allgemeinen Teil der Be-

schreibung allgemeiner und/oder abstrakter formulierten Erfindungsgedanken abzuleiten.

[0039] Die Erfindung wurde unter Bezugnahme auf eine bevorzugte Ausführungsform beschrieben. Es ist jedoch für einen Fachmann vorstellbar, dass Abwandlungen oder Änderungen der Erfindung gemacht werden können, ohne dabei den Schutzbereich der nachstehenden Ansprüche zu verlassen.

10 Bezuaszeichenliste

[0040]

1	Seltenerd-Magnetpulver
2	Pulverteilchen
3	Ecke
4	Kante / Bruchkante
5	herkömmlicher Seltenerd-Magnet
10	optimiertes Seltenerd-Magnetpulver
12	Pulverteilchen
12a	angerundete und/oder abgerundete Pulverteilchen
12b	gerundete Pulverteilchen
13	abgerundete Ecke
14	abgerundete Kante
19	optimierter Seltenerd- Magnet
20	weiter optimierter Seltenerd- Magnet
25	Anlage
30	Zerkleinerungseinrichtung
31	Mühle
32	Fließbettstrahlmühle
40	Schleifvorrichtung
50	Trenneinrichtung
51	Sichter
AM1, AM2	Ausgangsmaterial
F	Feinstabriebanteile
M	magnetisches bzw. magnetisierbares Rohmaterial
S	Schutzgas
ZP	Zwischenprodukt

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines pulverförmigen und zur Fertigung von Seltenerd-Magneten vorgesehenen Ausgangsmaterials (AM1, AM2), umfassend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen mindestens eines magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterials (M);
- Zerkleinern des bereitgestellten mindestens einen magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterials (M), wobei aus dem mindestens einen magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterial (M) ein pulverförmiges Zwischenprodukt (ZP) entsteht, wobei die Pulverteilchen (2) des

- pulverförmiges Zwischenproduktes (ZP) Ecken (3) und/oder Kanten (4) aufweisen;
 - Verrunden der Pulverteilchen (2) des pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP) unter Ausbildung eines mit verrundeten Pulverteilchen (12) versehenen pulverförmigen Produktes (10);
 - Verwendung des optimierten pulverförmigen Produktes (10) als erstes Ausgangsmaterial (AM1) zur Fertigung von ersten Seltenerd-Magneten (19) oder
 - Klassieren des optimierten pulverförmigen Produktes (10), wobei beim Verrunden entstandene Feinstabriebanteile (F) entfernt werden und Verwendung der nach dem Klassieren die verrundeten Pulverteilchen (12) umfassende Fraktion als zweites Ausgangsmaterial (AM2) zur Fertigung von zweiten Seltenerd-Magneten (20).
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zum Verrunden der Pulverteilchen (2) des pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP) die Ecken (3) und Kanten (4) derselben abgeschliffen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Schleifprozess mittels einer Schleifvorrichtung (40) vorgenommen wird, in der die Pulverteilchen (2) des pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP) derart bewegt werden, dass die Pulverteilchen (2) des pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP) aneinander reiben.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei der Schleifprozess unter Verwendung eines Schutzgases (S) durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Schleifvorrichtung (40) einen Aufnahmeraum umfasst, in den die Pulverteilchen (2) des pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP) eingefüllt und derart bewegt werden, dass sie aneinander reiben, wobei der Aufnahmeraum zwischen 50% bis 99% mit pulverförmigem Zwischenprodukt (ZP) befüllt ist, insbesondere wobei das pulverförmige Zwischenprodukt (ZP) mindestens 80% des Aufnahmeraums ausfüllt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der restliche Raum innerhalb des Aufnahmeraums durch Schutzgas (S) ausgefüllt ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Verrunden der Pulverteilchen (2) des pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP) bei einem niedrigen Gasdruck durchgeführt wird, insbesondere bei einem Gasdruck zwischen 0,25 bar und 1,00 bar.
8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die unter Verwendung des optimierten pulverförmigen Produktes (10) hergestellten ersten Seltenerd-Magnete (19) im Vergleich zu Seltenerd-Magneten (5), die mittels eines herkömmlich verwendeten Zerkleinerungsmaterials hergestellt werden, insbesondere unter Verwendung eines pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP), einen erhöhten Magnetwert bzw. einer höheren magnetischen Energiedichte aufweisen.
9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die unter Verwendung der nach dem Klassieren die verrundeten Pulverteilchen (12) umfassenden Fraktion hergestellten zweiten Seltenerd-Magnete (20) im Vergleich zu Seltenerd-Magneten (5), die mittels eines herkömmlich verwendeten Zerkleinerungsmaterials hergestellt werden, insbesondere unter Verwendung eines pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP), einen erhöhten Magnetwert bzw. einer höheren magnetischen Energiedichte aufweisen.
10. Anlage (25) zur Herstellung eines pulverförmigen und zur Fertigung von Seltenerd-Magneten vorgesehenen Ausgangsmaterials (AM1, AM2), insbesondere nach einem Verfahren gemäß Anspruch 1, umfassend
 - mindestens eine Zerkleinerungseinrichtung (30) zur Herstellung eines pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP) durch Zerkleinern eines bereitgestellten magnetischen bzw. magnetisierbaren Rohmaterials (M), wobei das pulverförmige Zwischenprodukt (ZP) Pulverteilchen (2) mit Ecken (3) und/oder Kanten (4) umfasst; und
 - eine Schleifvorrichtung (40), die zum Verrunden der Pulverteilchen (2) des pulverförmigen Zwischenproduktes (ZP) ausgebildet ist, wobei ein erstes Ausgangsmaterial (AM1) in Form eines optimierten pulverförmigen Produktes (10) mit verrundeten Pulverteilchen (12) zur Fertigung von ersten Seltenerd-Magneten (20) generierbar ist.
11. Anlage (25) nach Anspruch 10, weiterhin umfassend eine Trenneinrichtung (50), welche zur Klassierung des optimierten pulverförmigen Produktes (10) in eine Feinpulverfraktion und eine Grobpulverfraktion ausgebildet ist, wobei die Grobpulverfraktion die in der Schleifvorrichtung (40) ausgebildeten verrundeten Pulverteilchen (12) umfasst, wodurch ein weiter optimiertes zweites Ausgangsmaterial (AM2) zur Fertigung von zweiten Seltenerd-Magneten (20) generierbar ist.
12. Anlage (25) nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Schleifvorrichtung (40) mit einem Gasdruck, insbesondere mit einem Gasdruck zwischen 0,25 bar und 1,00 bar betreibbar ist.

Fig. 1

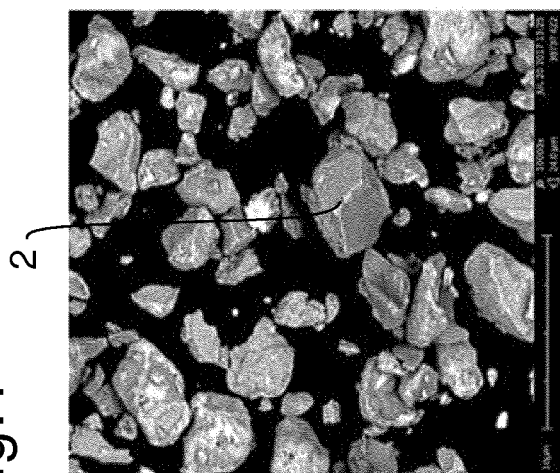


Fig. 3

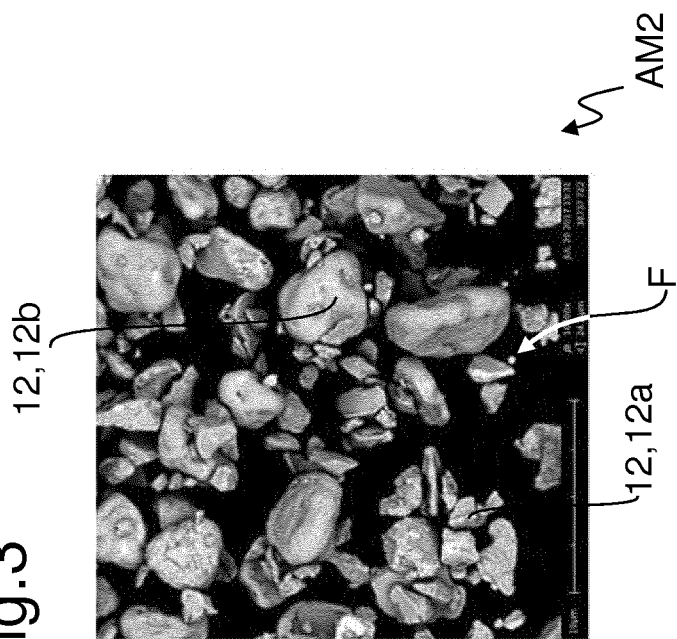


Fig. 2

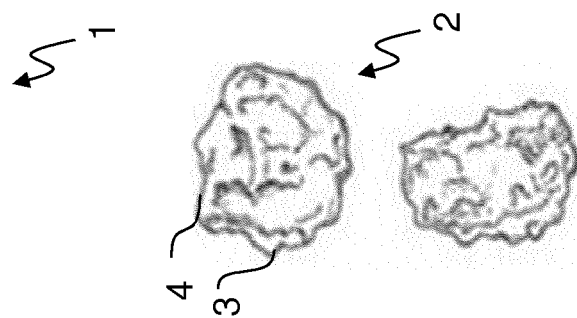


Fig. 4

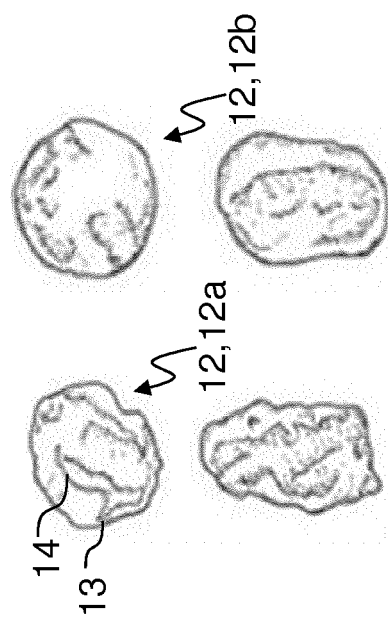


Fig.5

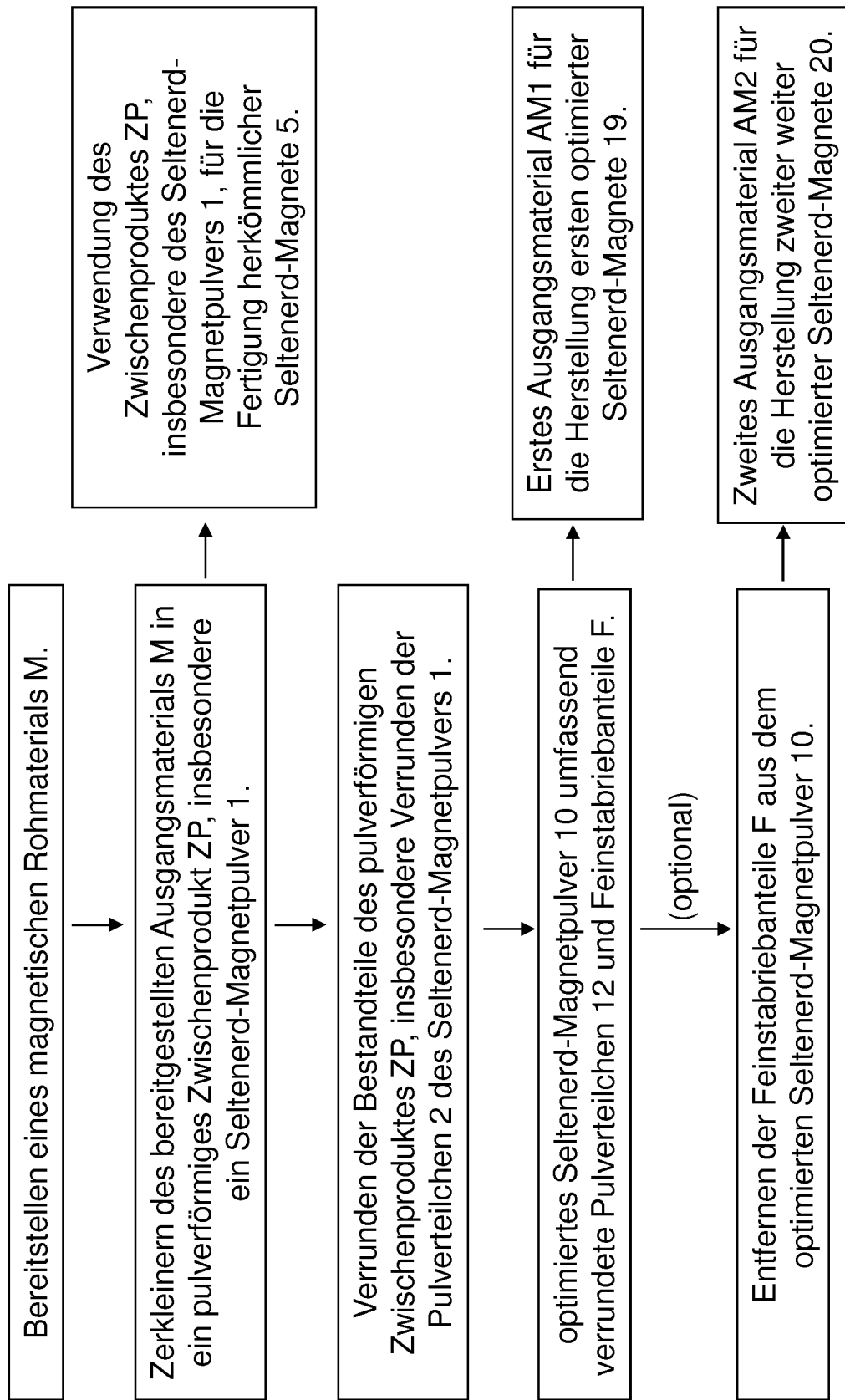
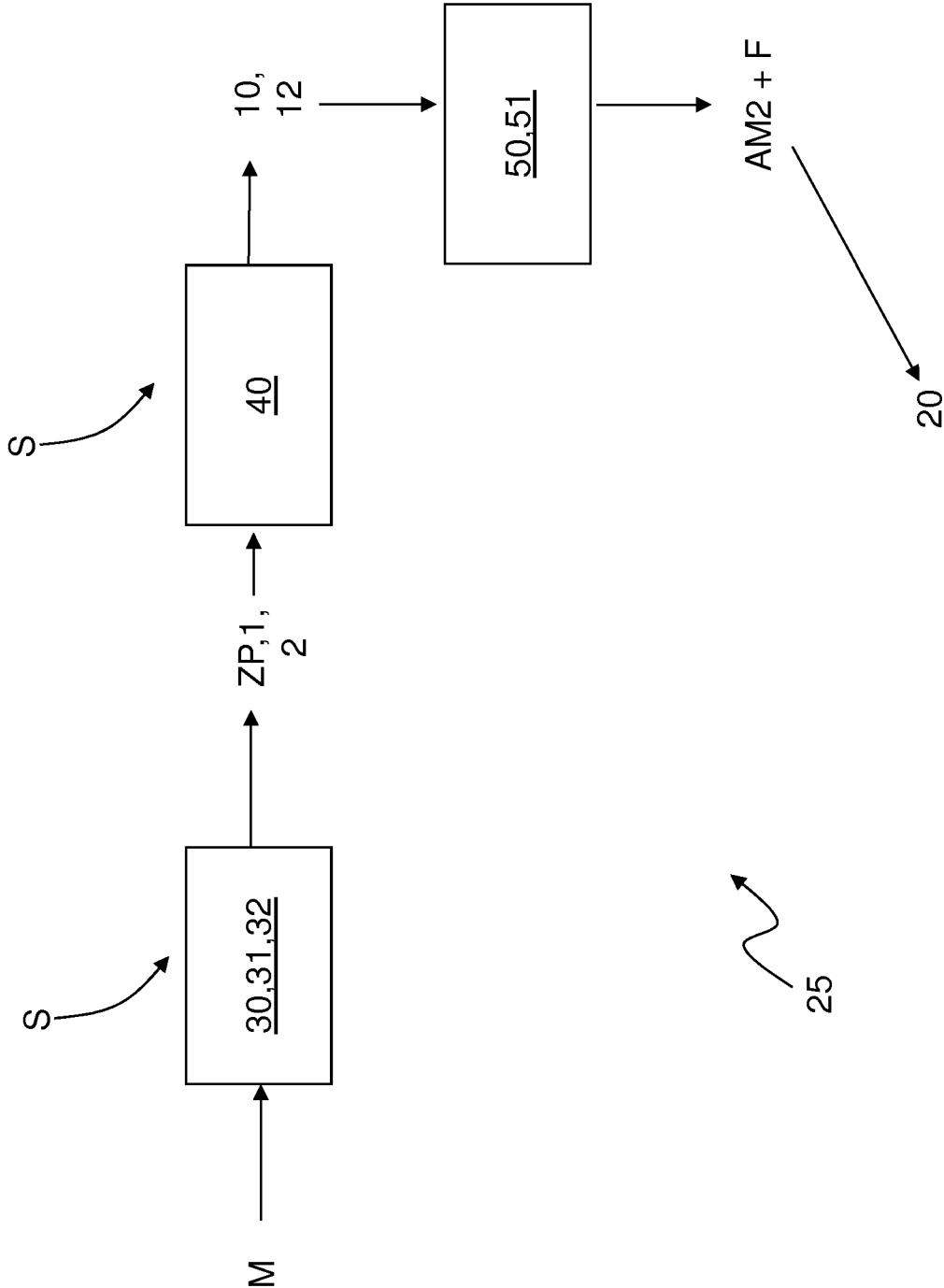


Fig.6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 19 17 0743

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 3 131 099 A1 (HITACHI METALS LTD [JP]) 15. Februar 2017 (2017-02-15) * Absätze [0001], [0035], [0039] - [0068] * * Abbildungen 1,2 *	1-8,10,12	INV. B22F1/00 B22F9/04 H01F1/057
X	JP H04 110404 A (KASEI CO C I) 10. April 1992 (1992-04-10) * Zusammenfassung *	1-5,7,8,10	
X	US 2014/334962 A1 (SUN BAQYU [CN]) 13. November 2014 (2014-11-13) * Absätze [0003], [0013] - [0015], [0019], [0020], [0027] * * Anspruch 1 * * Abbildung *	1-6,9-11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B22F H01F C22C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 13. September 2019	Prüfer Stocker, Christian
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 19 17 0743

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

13-09-2019

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3131099 A1	15-02-2017	CN 106165026 A	23-11-2016
		CN 109065313 A	21-12-2018
		EP 3131099 A1	15-02-2017
		JP 6481682 B2	13-03-2019
		JP WO2015146888 A1	13-04-2017
		US 2017098497 A1	06-04-2017
		WO 2015146888 A1	01-10-2015

JP H04110404 A	10-04-1992	KEINE	

US 2014334962 A1	13-11-2014	CN 103990805 A	20-08-2014
		EP 2944403 A1	18-11-2015
		JP 2015214745 A	03-12-2015
		JP 2017172046 A	28-09-2017
		US 2014334962 A1	13-11-2014

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82