

Produktion von NdFeB-Permanentmagneten bei MIMplus

MIMplus entwickelt nicht nur Produktionsverfahren um bereits vorhandene MIM-Materialien zu verarbeiten, sondern auch vollständig neue Materialien für das MIM-Verfahren. Ein wichtiges Beispiel sind die MIM-Permanentmagnete auf Basis von NdFeB-Legierungen, die MIMplus Technologies in den letzten Jahren entwickelt hat.

Die Marktnachfrage nach starken Permanentmagneten, insbesondere für Elektromotoren von Elektrofahrzeugen, neuen Sensoren oder Elektronik, ist in den letzten Jahren stark gestiegen. Sie hat einen starken Einfluss auf die Abhängigkeit der europäischen Wirtschaft von chinesischen Ressourcen, die für die Produktion von Permanentmagneten benötigt werden. Die stärksten Magnete, die sogenannten Supermagnete auf Basis von NdFeB, bestehen zu ~30 Gew.-% aus Seltenerdelementen, die hauptsächlich in China abgebaut werden. Bruchteile des weltweiten Bedarfs werden in anderen Ländern abgebaut. China liefert 98 % des EU-Bedarfs an EE-Elementen [<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>]. Vor allem bei den schweren Seltenen Erden wie Dy und Tb hat China ein Monopol auf den Abbau, da dort die einzigen Vorkommen weltweit liegen.

Als Konsequenz stuft die Europäische Union die EE-Elemente als kritisch, d.h. mit hoher wirtschaftlicher Bedeutung und gleichzeitig hohem Versorgungsrisiko ein. 28 weitere Ressourcen werden für die EU als hochkritisch eingestuft und stehen auf der Liste der kritischen Ressourcen [Quelle: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>]. Bei genauerer Betrachtung der Recyclingrate von RE-Elementen beträgt der Recyclingbeitrag zum Nd-Bedarf innerhalb der EU nur etwa 1 % im Vergleich zu ~50 % für andere Metalle wie Eisen, Zink, Platin [Quelle: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>]. Die geringe Recyclingquote und das hohe Versorgungsrisiko waren zwei wesentliche Gründe für die Europäische Union, die Forschung in Europa auf diesem Gebiet zu intensivieren. Unter dem Dach der Initiative Horizon 2020, einer Leitinitiative der Europäischen Union zur Sicherung der globalen Wettbewerbsfähigkeit Europas, sind mehrere geförderte Forschungsprojekte zum Recycling von EE-Elementen angesiedelt.

Teilnahme an öffentlich geförderten Forschungsprojekten

Die steigende Nachfrage nach komplexen Permanentmagneten sowie die finanzielle Unterstützung durch die Europäische Union veranlassten MIMplus (Rechtsnachfolgerin der OBE Ohnmacht & Baumgärtner GmbH & Co. KG) sich auf die Entwicklung eines Recycling- und Herstellungsverfahrens für MIM NdFeB Permanentmagnete zu konzentrieren. MIMplus arbeitet seit mehreren Jahren intensiv an der gesamten Prozesskette vom Recyclingmaterial bis hin zu neuen MIM-Magneten mit exzellenten Eigenschaften.

Die Grundidee von Permanentmagneten aus dem Metallpulverspritzgussverfahren besteht darin, die Vorteile zwei etablierter Technologien aus dem Stand der Technik zur Herstellung von Magneten zu kombinieren: Press-Sintermagnete und polymergebundene Magnete. Die Kombination beider Technologien zu einem Prozess ermöglicht die Herstellung komplexer MIM-Permanentmagnete mit einem hohen Energieprodukt BH_{max} und gleichzeitig einer Formkomplexität, die bisher nur durch kostenintensive Bearbeitung konventionell hergestellter Press-Sinter-Magnete realisierbar war. Die

magnetischen Eigenschaften von MIM-Magneten sind gut mit denen von herkömmlichen Sintermagneten vergleichbar.

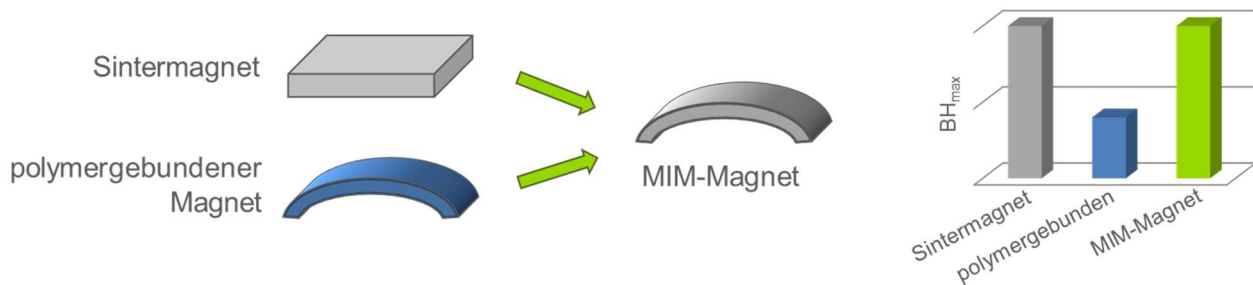


Abbildung 1: MIM-Magnete: Kombination der beiden Fertigungstechnologien aus dem Stand der Technik für NdFeB-Magnete in einem Prozess: Press-Sintern und Polymerbonding.

Bereits 2015 beteiligte sich MIMplus als einer von 14 europäischen Partnern am europäischen Projekt REProMag (2015 – 2018) mit dem Ziel, 100 % recycelte Permanentmagnete über die MIM-Route zu produzieren. 2017 gewann MIMplus mit diesem Projekt (Rechtsnachfolger der OBE Ohnmacht & Baumgärtner GmbH) den Deutschen Rohstoff Effizienzpreis am Standort Ispringen, Deutschland.

Nach dem großen Erfolg dieses Projekts führte MIMplus die Forschung zu MIM-Permanentmagneten mit zwei Folgeprojekten fort: MaXycle (2018 – 2021) und [SUSMAGPRO](#) (2019 – 2023).

MaXycle konzentrierte sich auf die Entwicklung einer Kennzeichnungsstrategie, um das Recycling von RE-haltigen Baugruppen zu erleichtern. Im Rahmen dieses Projektes hat MIMplus seinen Recycling- und Produktionsprozess im Labormaßstab ausgebaut.

Das zweite Projekt SUSMAGPRO wurde als Scale-up-Projekt mit der Idee gestartet, vier Magnetrecyclinganlagen in ganz Europa zu realisieren. Im Rahmen dieses Projekts hat MIMplus an seinem Standort in Ispringen, Deutschland, eine Pilotanlage für das Magnetrecycling aufgebaut. Sie umfasst das Recycling von Altmagneten, die Pulveraufbereitung, die Feedstockproduktion und das Entbindern und Sintern von MIM-Magneten.

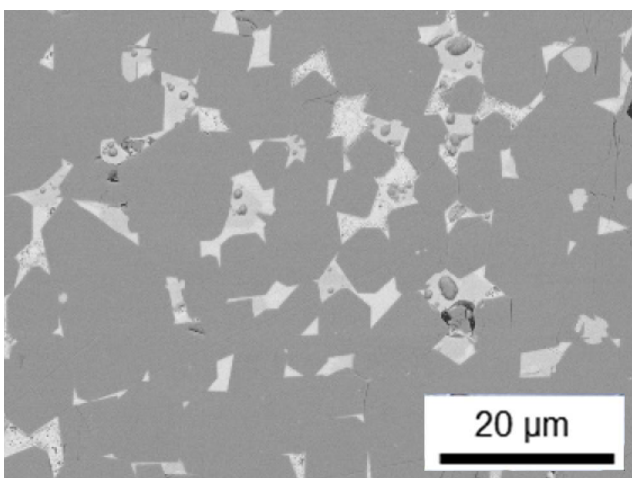


Abbildung 2: Typische Mikrostruktur eines MIM Permanentmagneten.

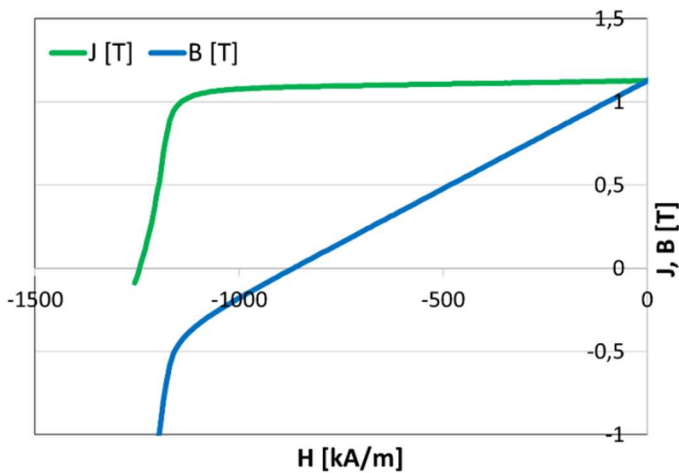


Abbildung 3: Typische Hystereseschleife eines MIM-Magneten.

Durchbruch in der Magnetproduktion im Jahr 2021

Nach mehr als 6 Jahren intensiver Forschung gelang MIMplus im Jahr 2021 der Durchbruch im Herstellungsprozess von MIM-Permanentmagneten. Das Unternehmen hat einen stabilen Produktionsprozess im Pilotmaßstab zur Herstellung von MIM-Permanentmagneten mit Eigenschaften entwickelt, die bisher nur von Sintermagneten erreicht wurden.

MIM-Magnete aus recyceltem Material können die magnetische Leistung der als Rohstoff eingesetzten Altmagnete erreichen. Die magnetische Leistung, d. h. Koerzitivfeldstärke H_{cJ} und Remanenz B_r , betragen $>98\%$ des Rohmaterials. Durch kontinuierliche Forschung entlang der gesamten Prozesskette können laut MIMplus bis zu 100% der Leistung des Rohstoffs erreicht werden.

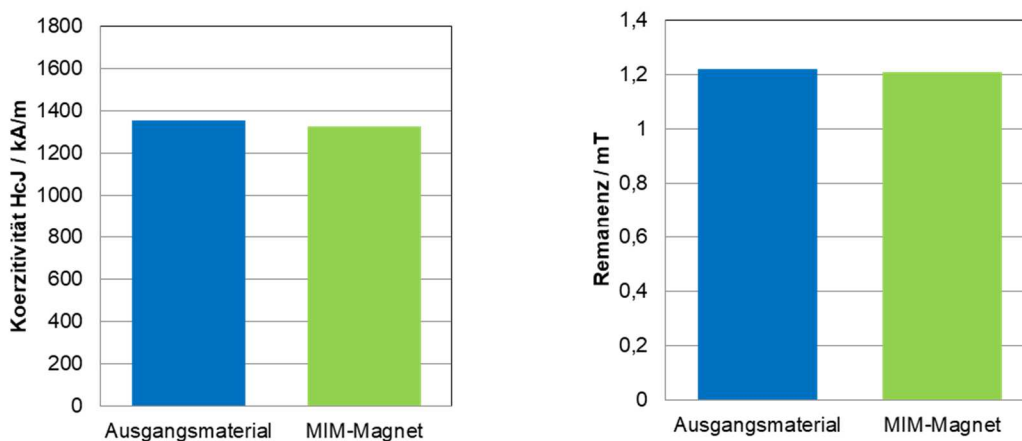


Abbildung 4: Magnetische Eigenschaften eines MIM-Magneten aus Recyclingmaterial im Vergleich zum verwendeten Rohstoff (Altmagnete aus einer Windkraftanlage).

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein großes Prozess-Know-how im Pulver- und Feedstock-Handling aufgebaut, das nur ein Teil für einen guten und stabilen Herstellungsprozess ist. In den Spritzgießprozess, hier insbesondere in die Werkzeugkonstruktion, wurde viel Aufwand gesteckt. Natürlich sind auch die nachfolgenden Prozessschritte, insbesondere das Sintern, von hoher Komplexität und bedürfen intensiver Forschung.

Diese innovative Entwicklung erschließt neue Märkte für das MIM-Verfahren in der Elektromobilität, für miniaturisierte Elektromotoren wie sie in der Medizintechnik eingesetzt werden oder für spezielle Anwendungen in der Sensorik und Elektronik. MIM-Magnete von MIMplus Technologies können aus recycelten Altmagneten oder neuem Material hergestellt werden, um seinen Kunden einen Cradle-to-Cradle-Ansatz zu ermöglichen.



Abbildung 5: MIM-Magnet im Hysteresegraph zur magnetischen Charakterisierung