

## PriMa Space 2D

Printed high energy magnets with arbitrary 2 dimensional magnetic structure

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Weltraum, Weltraum, ASAP Ausschreibung 2022	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.06.2023	<b>Projektende</b>	31.05.2025
<b>Zeitraum</b>	2023 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	24 Monate
<b>Keywords</b>	New Space; high energy magnets; 3D printing; sintering & debinding; anisotropy; high remanent flux density		

### Projektbeschreibung

Ausgangssituation, Problematik und Motivation:

Die Herstellung von komplexen Magnetsystemen mit komplizierter Geometrie oder dreidimensionaler Flussführung, wie sie z.B. in Halbach-Arrays, multipoligen Magneträder für Motore oder Magnetgetriebe gegeben sind, ist mit den Seltenerdgebundenen hochenergetischen Magneten aufwändig, ressourcenintensiv und teuer. Während des finalen Assembling Prozesses wird aus vielen Einzelmagneten die magnetische Struktur aufgebaut. Ein einfaches und billiges Herstellverfahren für Magnete mit einer freien Orientierbarkeit der magnetischen Flussrichtung, gepaart mit einer hohen magnetischen Güte, stellt für viele Anwendungen eine wichtige Innovation dar. 3D-Druckverfahren haben bislang die Druckbarkeit von Magneten bestätigt, jedoch mit nur geringen Remanenzflussdichten (RFD). Raumfahrtanwendungen benötigen aus ökonomischen Gründen die besten verfügbaren Materialien, um bei gleichbleibender Funktionalität möglichst große Gewichtseinsparungen zu erzielen. Dies bedingt hohe RFD des eingesetzten anisotropen Magnetmaterials.

Ziele und Innovationsgehalt gegenüber dem Stand der Technik: Der Stand der Technik erlaubt den 3D-Druck von kunststoffgebundenen Magneten mit RFD weit unter denen von anisotropen Magneten. Das Konsortium hat im letzten ASAP19 Projekt erstmalig die grundsätzliche Machbarkeit von gesinterten 3D gedruckten Magneten mit eindimensionaler Ausrichtung nachgewiesen.

Ziel dieses Projektes ist die Herstellung von gesinterten hochenergetischen Seltenerd magneten mit beliebiger zweidimensionaler Ausrichtung der eingepprägten Flussrichtungsverläufe. Die Realisierung der magnetischen Orientierung erfolgt mittels eines 3D-Druckers und einer funktionell erweiterten Magnetic Alignment Unit. Der Innovationsgehalt besteht in der Herstellung von gesinterten, rein metallischen dichten Magneten mit maßgeschneiderten anisotropen Eigenschaften. Die RFD soll dabei als Minimum die Werte von frei formbaren, gepressten isotropen Magneten annehmen, besser jedoch diesem überlegen sein.

Angestrebte Ergebnisse und Erkenntnisse:

Anwendungen in der Raumfahrt mit komplexen magnetischen Strukturen werden derart realisierbar, dass Gewicht und Kosten von zukünftigen Space-Produkten positiv beeinflusst werden. Ruag Space Austria (nunmehr beyond gravity) hat

speziell für Magnetgetriebe (multipolige Systeme) einen LOI verfasst. Die Wettbewerbsfähigkeit von IIES wird im europäischen und internationalen Space Segment nachhaltig aufgebaut. Die Ressourcen der Seltenen Erden werden bestmöglich genutzt. Die angestrebten Erkenntnisse liegen in dem essenziellen und für die erfolgreiche Herstellung von 3D gedruckten Magneten notwendigen Know-How, mit dem Ziel der Absicherung durch eine Patentanmeldung. Die Kernkompetenz für den 3D-Druck von hochenergetischen Magneten wird durch RHP national als auch international gestärkt. Auf wissenschaftlicher Ebene werden Publikationen durch RHP und LCM veröffentlicht.

## **Abstract**

Initial situation, problem and motivation:

The production of complex magnetic systems with complicated geometry or three-dimensional flux guidance, as it is in Halbach-arrays, multipole magnetic wheels for motors or magnetic gears, is complex, resource-intensive and expensive when realized with rare earth, high-energy magnets. The final magnetic structure is built up from many individual magnets during the assembling process. A simple and inexpensive manufacturing process for magnets represents an important innovation step for many applications if free orientation of the magnetic flux direction and high magnetic quality shall be achieved. 3D printing processes have so far confirmed the printability of magnets, but suffering from low remanence flux densities (RFD). For economic reasons, aerospace applications require the best materials in order to gain the highest weight saving while maintaining functionality. This requires high RFD of the anisotropic magnetic material in use. Especially for the New-Space segment the combination of best materials and affordable production method is very promising.

Objectives and innovative content:

State of the art 3D-printing of plastic-bonded magnets allows RFDs, which are far below those of anisotropic magnets. The consortium has proven in the last ASAP19 program ‚PriMa Space‘ the feasibility of uniaxial anisotropic printed and sintered magnets.

The aim of this project is the generation of sintered, high-energy rare earth magnets with a two dimensional, but freely designable magnetic flow direction imprinted in the magnet. The magnetic orientation is implemented using a 3D printer and a cooperating magnetic alignment unit. The innovative content consists in the generation of sintered, purely metallic dense magnets with tailored anisotropic properties. The RFD aims to reach the values of bonded isotropic magnets as a minimum, but should be better than this.

Desired results and findings:

Space applications and future space products with complex magnetic structures will be positively influenced due to weight and cost savings. Ruag (now beyond gravity) has drawn an LOI for magnetic gearboxes in special. The competitiveness of IIES will be fostered in the European and international space segment. The resources of rare earth elements are used in a sustainable way. The findings will lie in the essential know-how necessary for a successful production process of 3D printed magnets. This shall be protected by a patent application. The core competence for the 3D printing of high-energy magnets is strengthened nationally and internationally by RHP. At the scientific level, publications are published by RHP and LCM.

## **Endberichtkurzfassung**

Management Summary

PriMa Space 2D - Additive Manufacturing of High-Performance Rare-Earth Magnets

## Motivation

Magnets - both hard and soft - are integral to aerospace systems, powering actuators, motors, sensors, and control units. Traditional sintered magnets offer superior magnetic properties but suffer from brittleness, poor corrosion resistance, and limited shape flexibility. Bonded magnets allow complex geometries but involve material waste and tooling constraints. Additive manufacturing (AM) presents a transformative opportunity: enabling intricate magnet designs, internal cooling channels, and tailored magnetic properties. However, current AM methods yield low residual flux densities (RFD), limiting aerospace viability. To meet stringent performance and weight requirements, high-RFD anisotropic magnets are essential.

## Project Goals

The project aimed to revolutionize magnet fabrication by developing sintered, high-energy rare-earth magnets with two-dimensional magnetic flux alignment using an adapted AM process. Three core objectives guided the work, and were finally achieved - exceeding initial expectations in both performance and scalability:

### 1. 2D-Magnetic Structure via Additive Manufacturing

Developed a novel 3D printer with an integrated magnetic alignment unit (ALU) and material extruder.

Enabled precise control of magnetic particle orientation across all spatial axes.

Demonstrated successful printing with SmCo and NdFeB materials, overcoming challenges in viscosity, nozzle extrusion and printer bed adhesion.

### 2. Achievement of Targeted Magnetic Properties

Conducted extensive testing on powders and sintered samples using pressure-assisted sintering (HP - Hot Pressing).

Identified optimal sintering temperatures and material conditioning strategies.

Discovered discrepancies in commercial powder claims, prompting in-house verification and adoption of proven anisotropic granules.

Emphasized future need for controlled powder granulation and recycling to ensure consistent anisotropy.

### 3. Engineering and Manufacturing of Complex, Free-Form Magnets

Software development for Halbach array design and 3D-printer code generation.

Enabled printing of flexible, complex magnet shapes with tailored magnetic properties.

Integrated ALU into the print head for real-time anisotropic alignment during extrusion.

### Highlight

Fabrication of Halbach arrays (Figure 2) with programmable pole configurations showcased the process chain's function, precision and versatility.

### Outlook & Business Potential

Industry engagement revealed strong demand for Halbach magnets as standalone components. The developed AM process offers a scalable, cost-effective solution with significant commercial potential. Future adaptations include simplified magnet heads applicable at conventional 3D printers and filament-based extrusion systems - streamlining production and reducing costs. A key challenge remains: securing reliable powder quality through in-house treatment or strategic sourcing.

### **Projektkoordinator**

- IIES - Inspired Innovation Engineering Services e.U.

### **Projektpartner**

- Linz Center of Mechatronics GmbH
- RHP-Technology GmbH