

# Abschlussbericht

**für das Teilvorhaben:  
Materialentwicklung für Hybride Metall-Polymer-Filamente  
für die generative Fertigung von Ferriten und Induktivitäten**

**im Verbundvorhaben „MepoFerri“  
Hybride Metall-Polymer-Filamente für die generative Fertigung von Ferriten und  
Induktivitäten**

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialfor-  
schung (IFAM)

Ansprechpartner: Arne Haberkorn

Förderkennzeichen: 03XP0372D

Bremen, im September 2024

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
Abbildungsverzeichnis .....	2
Tabellenverzeichnis .....	3
<b>1 Einleitung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Planung und Struktur des Vorhabens .....</b>	<b>4</b>
<b>3 wissenschaftlicher und technischer Stand zu/vor Projektbeginn .....</b>	<b>6</b>
<b>4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....</b>	<b>7</b>
<b>5 Eingehende Darstellung der Verwendung der Zuwendung .....</b>	<b>7</b>
5.1 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen und wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	7
5.2 Notwendigkeit der Zuwendung und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten .....	19
<b>6 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....</b>	<b>19</b>
<b>7 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....</b>	<b>20</b>
<b>8 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse .....</b>	<b>20</b>

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1: Projektstrukturplan mit den beteiligten Partnern und deren Zusammenarbeit</i>	5
<i>Abb. 2: Compounder mit Drucklufttrockner und Vielfachdosierungen</i>	8
<i>Abb. 3: Beispiel für drei unterschiedliche ferritische Pulver als Zuschlagsstoff für den Compoundierprozess</i>	8
<i>Abb. 4: Compoundierung des Komposits mit dem Ferritpulver Mt114</i>	9
<i>Abb. 5: Vollständig ausgebaute Prozesslinie zur Herstellung hochgefüllter Filamente für FFF inklusive in-line Qualitätsüberwachung</i>	10
<i>Abb. 6: Modul zur optischen in-line Qualitätsüberwachung der Filamentdurchmesser bzw. Rundheit.</i>	10
<i>Abb. 7: Filamentrolle aus dem Komposit mit dem Ferritpulver Mt114</i>	11
<i>Abb. 8: Ferritpaste auf einem Dreiwalzwerk zur Homogenisierung</i>	11
<i>Abb. 9: Gedruckter Ringkern aus einer Ferrit-Pulver gefüllten Paste, gedruckt über ein Dispenssystem</i>	12
<i>Abb. 10: Erste Testdrucke aus einem Material mit dem Ferritpulver &lt;math&gt;&lt;90\mu\text{m}&lt;/math&gt;</i>	12
<i>Abb. 11: Gedruckte Ringkerne als Mischung aus Pulver 0502 und 2077</i>	13
<i>Abb. 12: Gedruckte Ringkerne aus dem Material Mf114, Größe 16x8x8 mm</i>	13

<i>Abb. 13: Gedruckte Ringkerne in den Dimensionen 16x8x8mm und 6,3x3,4x2,5mm mit dem Füllstoff Ni-Zn 90-315µm, raue Oberfläche durch große Partikelgrößen</i>	14
<i>Abb. 14: Schematische Darstellung der Schnittebene der Schlifffbilder</i>	15
<i>Abb. 15: Schnittebene 1 durch den Ringkern einer Probe</i>	15
<i>Abb. 16: Schnittebene 2 durch den Ringkern einer Probe</i>	16
<i>Abb. 17: Vergrößerung in die Schnittebene 1 durch den Ringkern einer Probe</i>	16
<i>Abb. 18: Aufbau der einzelnen Druckschichten des Produktdemonstrator mit integrierter Spule</i>	17
<i>Abb. 19: Gedruckter Produktdemonstrator mit integrierter Spule</i>	17
<i>Abb. 20: Definitionsüberblick Fertigungskonzept</i>	18
<i>Abb. 21: Präsentation erster Ergebnisse auf der K Messe und Formnext im Jahr 2022</i>	21

## Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Ausgewählte Polymertypen als mögliche Anwendung als Matrixpolymer in Polymer-Ferrit-Kompositen</i>	8
<i>Tabelle 2: Ferritpulvertypen und Kombinationen nach Projektinterner Nomenklatur</i>	9
<i>Tabelle 3: Druckparameter / Druckprozessoptimierung</i>	13

## 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Rahmen des Verbund-Projektes „MEPOFERRI“ sollten hybride Metall- und Ferrit-Polymer-Filamente für die generative Fertigung von Ferritkernbauteilen ausgehend von TRL 4 bis zur Demonstrations- bzw. Pilotanwendung entwickelt werden. Als weitere Ziel war, definiert, die ferritischen Kompositmaterialien in möglichst hoher Qualität, prozesseitig additiv zu verarbeiten und dabei möglichst die Kennwerte der bisher in vielen Anwendungen eingesetzten Produkte zu erreichen. Durch die generative Fertigung sollte sowohl eine digitale Designfreiheit als auch die Möglichkeit geschaffen werden, gezielt und individuell auf kleine Stückzahlen und spezielle Kundenwünsche eingehen zu können.

Das Fraunhofer IFAM war in dem Teilvorhaben federführend für die Materialentwicklung der Kompositvarianten und deren Überführung in ein zu verdrückendes Halbzeug, verantwortlich. Ferner wurde der entsprechende Druckprozess entwickelt bzw. an die Besonderheiten des neuen Materials angepasst.

Die Haupt-Arbeitsfelder des Fraunhofer IFAM im Projekt stellten sich folgendermaßen dar:

- Entwicklung hochgefüllter ferritischer Polymer-Kompositwerkstoffe, für additive Fertigungsprozesse (Fused Filament Fabrication, FFF), inklusive der Auswahl passender Matrixpolymerwerkstoffe und gegebenenfalls spezieller Additive für eine optimale Prozessierung und Weiterverarbeitung im 3D-Druck
- Entwicklung / Anpassung von additiven Fertigungsprozessen (FFF-Druck), insbesondere möglicher notwendiger Hardwareanpassungen und Prozessoptimierung
- Herstellung und Charakterisierung von Muster und Demonstrationsbauteilen in den jeweils entwickelten Material-Kompositvarianten
- Bemusterung der Projektpartner mit Material und Musterbauteilen.

Ziel der Arbeiten des Fraunhofer IFAM war es, hinsichtlich der beschriebenen Anwendungen leistungsfähige Polymer-Ferritkomposite herzustellen, die sich neben den geforderten physikalischen Eigenschaften, zusätzlich druckprozesstechnisch ideal verhalten sollten.

## 2 Planung und Struktur des Vorhabens

Die Arbeiten des Teilvorhabens „Materialentwicklung für Hybride Metall-Polymer-Filamente für die generative Fertigung von Ferriten und Induktivitäten“ waren eingebettet im Verbundvorhaben „Mepo-Ferri“ Hybride Metall-Polymer-Filamente für die generative Fertigung von Ferriten und Induktivitäten. Die Förderung fand im Rahmen des 2. Förderaufrufs „Werkstoffplattform für Hybride Materialien - Neue Möglichkeiten, Neue Marktpotenziale (HyMat2), des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) statt.

Die Partner des Vorhabens arbeiteten schwerpunktmäßig auf folgenden Kernthemen:

- Fraunhofer IFAM, Bremen (Forschungsinstitut): Material- und Prozessanpassungen, Materialentwicklung, Prozess-integration, technische Demonstratoren
- Neotech AMT GmbH, Nürnberg (KMU): Druckprozesse (3D-Druck (FFF), 3D-Jetting), Produktdemonstrator (Herstellung und Charakterisierung, Fertigungskonzept
- Würth Elektronik eiSos GmbH & Co.Kg, Waldenburg: Fertigungskonzept, Materialcharakterisierung, Fertigungskonzept Produktdemonstrator (Herstellung und Charakterisierung), Lastenheft
- Tridelta Weichferrite GmbH, Hermsdorf: Materialentwicklung, Bereitstellung der ferritischen Füllstoffe, Materialcharakterisierung

Abbildung 1 zeigt die beteiligten Partner des Verbundvorhabens und deren Zusammenarbeit im Projekt (Projektstrukturplan) und den Hauptarbeitspaketen

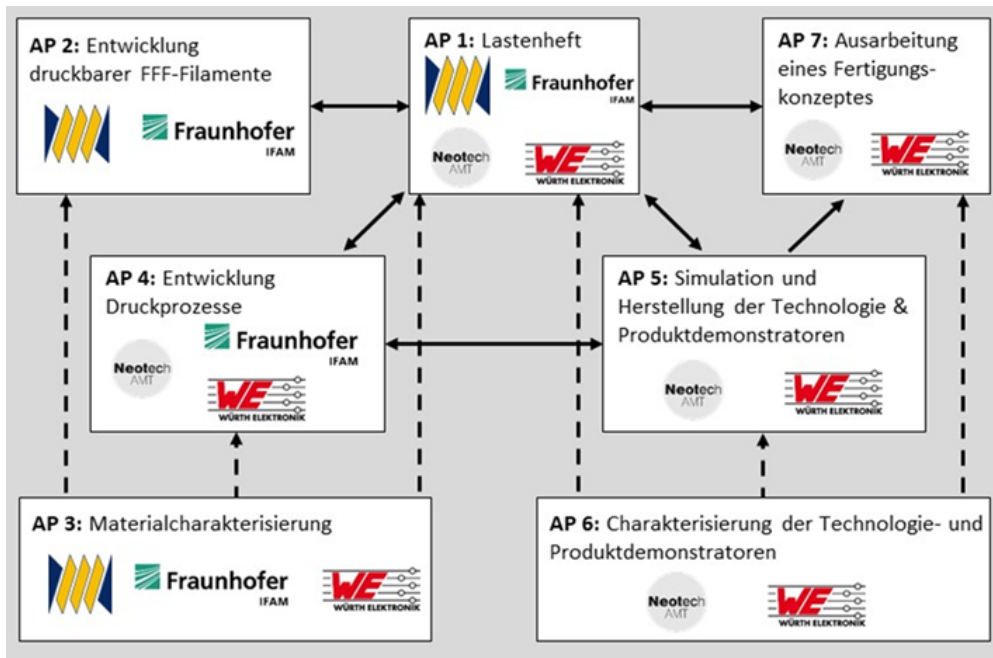


Abb. 1: Projektstrukturplan mit den beteiligten Partnern und deren Zusammenarbeit

Die Laufzeit des Projektes war vom 01.07.2021 bis 31.12.2023 (kostenneutraler Verlängerung bis 30.04.2024)

### Meilensteine

Es wurden drei Meilensteine definiert, die sowohl im Gesamtprojekt als auch für das Teilvorhaben des Fraunhofer IFAM galten:

- M1: Finales Lastenheft erstellt (nach 6 Monaten)
- M2: Druckbare FFF-Filamente liegen vor (nach 18 Monaten)
- M3: Technologiedemonstratoren liegen vor (nach 24 Monaten)

Für einen reibungslosen Austausch von Informationen und Ergebnissen wurden entsprechende regelmäßige Arbeitsmeetings und Projektmeetings durchgeführt.

### 3 wissenschaftlicher und technischer Stand zu/vor Projektbeginn

Die Recherche zum Stand der Technik erfolgte auf Grund jahrelanger Erfahrung des Fraunhofer IFAM auf diesem Gebiet in Industrieprojekten und öffentlich geförderten Projekten, sowie Analyse der einschlägigen Fachliteratur, Besuch von Fachmessen und Fachkonferenzen wie z.B. Printed Electronics, Formnext, K-Messe, Kuteno und durch Networking wie z.B. in der Online-Community oder der Fraunhofer Allianz Generativ.

Viele elektronische Geräte verursachen hochfrequente Störungen und können unerwünscht hochfrequente Energie über angeschlossene Kabel abstrahlen. Dabei wird die Energie als Mantelwelle aus dem Gerät ins Kabel abgestrahlt, das dabei als Antenne wirkt.

Zur Dämpfung dieser Störungen können Kabel im gesamten Querschnitt einfach oder mehrfach durch einen Ferritkern geführt werden. Für die Störung wirkt diese Anordnung durch ihre Induktivität wie eine Drossel. Das Nutzsignal erfährt keine Induktivität, da sich die Magnetfelder der auf verschiedenen Adern innerhalb des Kabels hin- und rückfließenden Ströme kompensieren. Zur nachträglichen Entstörung gibt es Entstörkerne, die als geteilte, rastbare Ring- und Flachbandkabel ferrite um Leitungen gelegt werden können (Mantelwellenfilter, Klappferrite).

Ferrite werden in weichmagnetische und hartmagnetische eingeteilt. Weichmagnetische Ferrite weisen eine möglichst geringe Koerzitivfeldstärke auf, hartmagnetische Ferrite eine möglichst hohe. Die Charakterisierung erfolgt anhand der Hystereseurve: Für weichmagnetische Ferrite wird eine möglichst leichte (Um-)Magnetisierbarkeit angestrebt, was einer schmalen Hystereseurve entspricht. Mangan-Zink-Ferrite (Mn-Zn-Ferrite) sind keramisch basierte Werkstoffe aus hochreinem Eisen(III)-oxid, Manganoxid und Zinkoxid, die unter Zugabe verschiedener Dotierstoffe die gewünschten magnetischen Eigenschaften erhalten. Die Metalleionen und der Sauerstoff bilden nach dem Sintern unter definiertem pO<sub>2</sub>-Gehalt einen Spinell z.B.  $Zn_{0,233}^{2+}Mn_{0,686}^{2+}Fe_{0,081}^{2+}Fe_{2,000}^{3+}O_{4,00}$  aus, innerhalb dessen die Dotierstoffe SiO<sub>2</sub> und CaO eingelagert werden. Solche Kristallsystem-Körner bestehen an den Oberflächen aus elektrisch nichtleitendem Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Dadurch ist der Ferrit praktisch nichtleitend und es können weichmagnetische Ferritkerne mit äußerst geringen Kernverlusten hergestellt werden.

Eine Übersicht zu weiteren Anwendungen von Ferritkernen findet sich u.a. in „Trilogie der induktiven Bauelemente, Applikationshandbuch für EMV-Filter, getaktete Stromversorgungen und HF-Schaltungen, Thomas Brander, Alexander Gerfer, Bernhard Rall und Heinz Zenkner, Swiridoff Verlag, 696 S., ISBN: 3899291514“.

Heute werden Ferritkerne mittels Trockenpressverfahren hergestellt. Hierbei fallen teure Werkzeugkosten an, die einer Fertigung kleiner Stückzahlen bis hinunter zur Losgröße eins für Speziallösungen entgegenstehen. Erste Untersuchungen auf dem Gebiet gedruckter Ferrite sind auf universitärer Ebene durchgeführt worden. Dabei zeigten verschiedene Autoren ([Han20], [Liu18], [Sto18], [Yan17]) die grundsätzliche Herstellbarkeit von Ferritkernen durch additive Fertigung auf. Eine Kombination von Ferrit und Kupfer durch additive Fertigung konnte auf universitärer Ebene nicht festgestellt werden.

Das Fraunhofer IFAM beschäftigt sich seit einigen Jahren mit der Entwicklung hochgefüllter Polymer-Metall, -Keramik, und -Kohlenstoffkompositen. Ziel ist es dabei, physikalische Eigenschaften, wie elektrische und thermische Leitfähigkeit, um mehrere Größenordnungen zu steigern. Neben dem Spritzguss und der Extrusion erfolgt die Materialapplikation im zunehmenden Maße über additive Fertigungsverfahren wie dem FFF-Druck. Die in diesem Projekt angestrebten Entwicklungen zielten auf maßgeschneiderte Materialkompositionen ab, um diese generativ via FFF-Druck zu verarbeiten. Die Herausforderungen an diese Materiallösungen sind, dass elektrisch leitende, magnetische und dielektrisch Komposite im späteren Verarbeitungsprozess kombiniert und Füllstoffmaterialien, Partikelformen, Art der Polymere und die Prozesstechnik als solches, aufeinander abgestimmt werden müssen.

Neuartig im beschriebenen Projekt war insbesondere die hybride werkstoffliche Kombination von Metallen bzw. Metalloxiden mit thermoplastischen Polymeren bei gleichzeitig geometrischer Optimierung

generativ gefertigter Ferritkerne. Ferritisch basierte Materialien werden damit unter Zusatz von geeigneten thermoplastischen Polymeren im (FFF) -Verfahren verarbeitbar. Das verwendete Druckverfahren bietet zusätzlich die Möglichkeit mittels mehrerer Druckdüsen Materialvarianten im entstehenden Produkt direkt zu kombinieren, wie im Vorhaben beschrieben, den maßgeschneiderten Druck einer integrierten leitfähigen Spule um oder in den optimierten Ferritkern. Weiterhin besteht die Möglichkeit, konventionelle Elektronikbausteine (SMD-Bauteile, Mikroelektronik, Stecker) in das mittels FFF generierte Bauteil zu integrieren. Grundlegende Vorarbeiten hierzu erfolgten durch den Antragsteller, u.a. im kürzlich abgeschlossenen Projekt HYB-Man (BMBF Fördernr. 16ES0624).

- [Han20] Hanemann, Thomas; Syperek, Diana; Nötzel, Dorit: 3D Printing of ABS Barium Ferrite Composites; Materials; 2020, 13, 1481
- [Liu18] Liu, Lanbing; Ge, Ting; Ngo, Khai D.T.; Mei, Yunhui; Lu, Guo-Quan: Ferrite Paste Cured With Ultraviolet Light for Additive Manufacturing of Magnetic Components for Power Electronics; IEEE Magnetics Letters; 2018, Vol 19
- [Sto18] Stojanović Goran M.; Lečić, Nikola; Kojić, Sanja; Vasiljević, Dragana: „Characterization of customized ferrite cores for a compact six-phase coupled inductor“, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics; 2018, Vol 57 Nr 1, S 19–27
- [Yan17] Yan, Yi; Moss, Jim; Ngo, Khai D.T.; Mei, Yunhui; Lu, Guo-Quan: Additive Manufacturing of Magnetics; IEEE Transactions on Industry Applications; 2017, Vol 53, Nr 6, S 5709 – 5714

## 4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zum beschriebenen Teilvorhaben als auch Gesamtvorhaben fand keine Zusammenarbeit mit anderen Stellen statt.

## 5 Eingehende Darstellung der Verwendung der Zuwendung

### 5.1 Erzielte Ergebnisse im Einzelnen und wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

In den beiden Hauptarbeitspaketen „Entwicklung verdruckbarer Filamente“ und „Entwicklung Druckprozess“ wurden am Fraunhofer IFAM folgende wesentliche Arbeiten geleistet und Ergebnisse erzielt:

#### Entwicklung Kompositmaterial für verdruckbare Filamente

Zu Beginn des Materialentwicklungsprozesses stand eine Evaluation von möglichen Matrixpolymeren unter Hinzuwendung eines von den Projektpartnern gemeinsam erstellten Lastenheftes. Ziel war es hier mit idealerweise einem Kunststofftyp in die Entwicklung zu gehen, um ein zu großes „Auffächern“ von Materialvarianten zu vermeiden. Unter den folgenden wie Aspekten:

- Fließfähigkeit
- Benetzung
- Affinität zu Füllstoffen und
- Temperaturbeständigkeit

wurden wie in Tabelle 1 aufgeführt, vier mögliche Polymertypen als geeignet identifiziert.

Polymer	Supplier	Name	Typ
TPC	Dupont	Hytrell	Elastomer
EPDM_PP	Albis	Alfater XL	Elastomer
Pa 6 COPO	Arkema	PeBax	Elastomer
Pa 6	BASF	Ultramid	Th.Plast
Pa 6 Hotmelt	Henkel	Technomelt	Hotmelt

Tabelle 1: Ausgewählte Polymertypen als mögliche Anwendung als Matrixpolymer in Polymer-Ferrit-Kompositen

Da zu Beginn des Vorhabens noch nicht feststand, ob evtl. eine Entbinderung des Polymeranteils erfolgen sollte, fokussierte sich die endgültige Kunststoffauswahl auf das Pa6 Copolymer Pebax von Arkema. Mit diesem Polymer konnte das Fraunhofer IFAM, aus Erfahrungen der letzten Jahre, positive Entbinderungsversuche bestätigen.

Für die Entwicklung bzw. Herstellung der Kompositvarianten, wurde eine spezielle Compoundierlinie für hochgefüllte Compounds verwendet. Die Prozessstrecke besteht aus einem Spezial-Compounder für technische Kunststoffe, einem Hochleistungsdrucklufttrockner und einer Abzugseinrichtung für das Kompositmaterial (siehe Abbildung 2).

Mit dem Compounder wurden Füllgehalte von bis zu 84 Gew% (Ferritpulver) realisiert. Dazu können bis zu fünf unterschiedliche Materialien gleichzeitig zudosiert werden und bei bis zu 300 °C und 150 bar bis zu 5 kg/h Material compoundiert werden.



Abb. 2: Compounder mit Drucklufttrockner und Vielfachdosierungen

Neben dem eigentlichen Abstimmen und Einfahren der Compoundierlinie lag ein Hauptaugenmerk auf die Anpassungen der Dosierungen hinsichtlich der sehr unterschiedlichen Charakteristika der von der Tridelta Weichferrite GmbH zur Verfügung gestellten ferritischen Pulver. Diese variierten nicht nur stark in der Partikelgröße, sondern auch in deren Schüttdichte und Rieselfähigkeit (siehe Abbildung 3)



Ferritpulver 0502, gemahlen und granuliert

Ferritpulver klassiert, 90-200 µm,

Ferritpulver klassiert, < 90 µm,

Abb. 3: Beispiel für drei unterschiedliche ferritische Pulver als Zuschlagsstoff für den Compoundierprozess

Insgesamt wurden im Berichtszeitraum zehn unterschiedliche ferritische Pulver verarbeitet. Dies erfolgte nicht immer in „Reinform“, sondern aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften und Partikelgrößenverteilungen bei vielen Varianten als Kombination in Form von zwei Pulver pro Kompositvariante (siehe Tabelle 2). Die Herstellung bzw. verwendeten Rezepturen erfolgten in Absprache mit den beteiligten Projektpartnern des Verbundprojektes. Neben einem sogenannten „Vorferrit“ (noch nicht gesintert, in der Tabelle das MF114), wurde Ferrit-Material aus FeO<sub>2</sub>-Mg-Zn und FeO<sub>2</sub>- Ni-Zn hergestellt.

A1	20-200 µm
A2	<90 µm
A3	0502
B1	2077+0502
B2	2077+0502
C1	Mf114
C2	Mf114
G1	2077+90-200
G2	2077+>200
H1	NI-Zn 90-315

*Tabelle 2: Ferritpulvertypen und Kombinationen nach Projektinterner Nomenklatur*

Zusammenfassend betrachtet, konnte mit Ausnahme einer Ferritpulvervariante (hier überstieg die Partikelgröße das Maximalmaß der Druckerdüse), Kompositmaterial mit allen Pulvern hergestellt werden. Das fertige Komposit konnte als Strang abgezogen (siehe Abbildung 4) und in den meisten Fällen zu Standardgranulat weiterverarbeitet werden.



*Abb. 4: Compoundierung des Komposits mit dem Ferritpulver Mt114*

Hinsichtlich der Weiterverarbeitung im Druckprozess wurden im Laufe des Projektes die beiden Routen verfolgt, das Komposit einmal per Filamentdruck zu verarbeiten und als weitere Variante per Pelletextruder direkt aus dem Granulat des Compoundierprozesses. Für die Herstellung des Filament wurde das Kompositgranulat einer Filamentlinie zugeführt (siehe Abbildung 5)



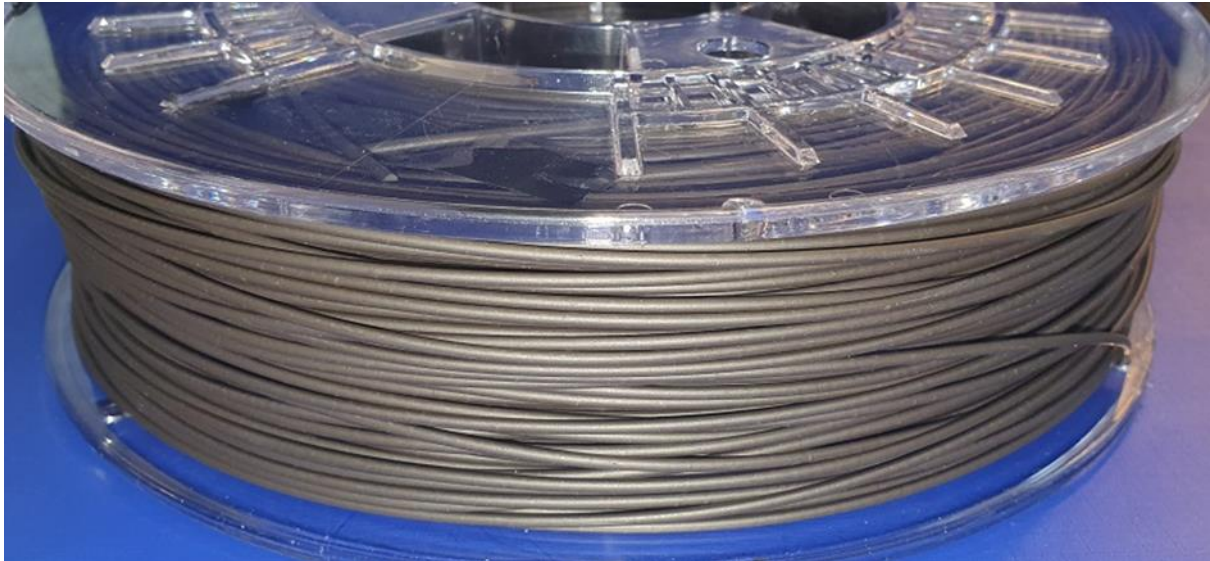
Abb. 5: Vollständig ausgebaute Prozesslinie zur Herstellung hochgefüllter Filamente für FFF inklusive in-line Qualitätsüberwachung

Grundsätzlich konnten aus fast allen Materialvarianten Filamente hergestellt werden, jedoch führte bei einigen Materialkombinationen eine starke Versprödung des Materials zu einer ungenügenden Robustheit des Filaments im weiteren Verarbeitungshandling. Demzufolge ließen sich diese Typen schwer oder gar nicht auf Spulen wickeln oder es kam zu Filamentbrüchen auf den Spulen oder während des Zuführens im Drucker.

Die Filamentqualität wurde optisch in-line über eine entsprechende Lasereinrichtung überwacht bzw. kontrolliert (siehe Abbildung 6) und am Ende der Prozesslinie per Filamentwickler auf Spulen konfektioniert (siehe Abbildung 7).



Abb. 6: Modul zur optischen in-line Qualitätsüberwachung der Filamentdurchmesser bzw. Rundheit.



*Abb. 7: Filamentrolle aus dem Komposit mit dem Ferritpulver Mt114*

Jeweils ein Teil der hergestellten Filamente als auch Granulate wurden im Anschluss Zwecks Druckversuche zur Neotech AMT GmbH versendet, der andere Teil verblieb am Fraunhofer IFAM für die dortigen Druckversuche.

Die Druckversuche (Abbildung 8) selbst, wurden an Standard-Filamentdruckern durchgeführt. Aufgrund der hohen Füllraten musste die Prozessfenster angepasst werden. Hardwareseitig war es nötig, die HotEnd-Kühlung zu modifizieren bzw. zu verbessern, da die Materialien eine wesentlich höhere thermische Leitfähigkeit besitzen, als klassisch ungefüllte Kunststoffe. Des Weiteren erforderten die ferritischen Komposite durch ihr teilweise stark abrasives Verhalten, den Einsatz von speziellen Düsenmaterialien an den Druckern.

Als Alternatives Funktionsmaterial zu den thermoplastischen Ferrit-Kompositen entwickelte das Fraunhofer IFAM in einem ersten Schritt eine Ferrit-Paste, basierend auf einem Harz, welche über ein 3D-Druck-Dispenssystem zu entsprechenden Bauteilen verarbeitet werden sollte (siehe Abbildung 8) Die Ferritpaste wurde an die Neotech AMT GmbH geliefert, die Testdrucke fanden ausschließlich dort statt. Aufgrund des sich, nach ersten Druckversuchen, abzeichnenden weiteren hohen Entwicklungsaufwandes, wurden in Abspreche mit den Projektpartnern, die Arbeiten in diesem Bereich nicht weiter ausgebaut bzw. fortgeführt. Die Abbildung 9 zeigt einen ersten Druckversuch aus einer ferritischen Druckpaste nach dem Aushärten, hergestellt bei der Neotech AMT GmbH.



*Abb. 8: Ferritpaste auf einem Dreiwalzwerk zur Homogenisierung*

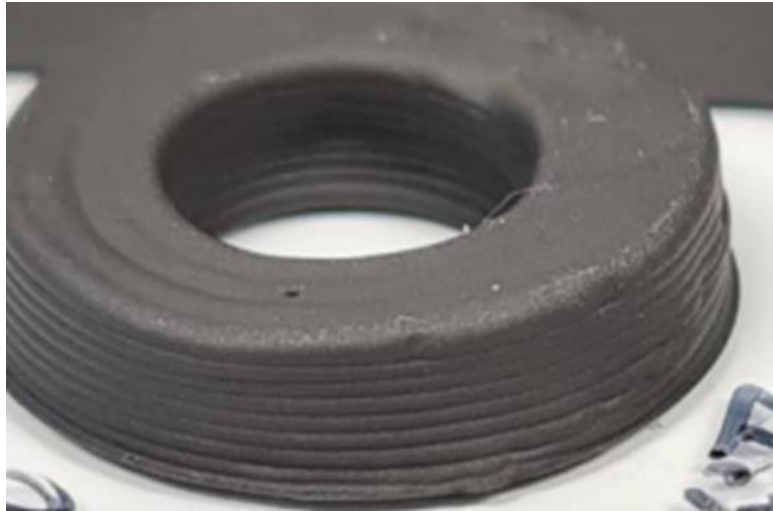


Abb. 9: Gedruckter Ringkern aus einer Ferrit-Pulver gefüllten Paste, gedruckt über ein Dispenssystem

### Entwicklung Druckprozess

Die ersten Druckversuche mit Filament erfolgten in Annäherung an Ringkernen, noch ohne geometrische Vorgaben durch die Projektpartner (siehe Abbildung 10). Im weiteren Verlauf des Projektes wurden die Ringkerne in Analogie zu bestehenden Produkten in zwei Größenvarianten gedruckt, 16x8x8mm und 6,3x3,4x2,5mm. Obwohl die Composite nur auf Basis eines Matrixpolymers entwickelt wurden, kam es durch die unterschiedlichen Ferritpulver und deren Kombinationen, die verschiedenen Druckprozesse (Filament und Pellet) zusammen mit den beiden Ringgrößen zu über 30 Varianten der gedruckten Ringe.

Grundsätzlich wurden alle Druckparameter zwischen den Druckpartnern Fraunhofer IFAM und der Neotech AMT GmbH abgesprochen, so dass die Ergebnisse aus den Testdrucken des Fraunhofer IFAM Und der Neotech AMT GmbH miteinander korrespondierten, es kam hier nur zu geringfügigen Abweichungen.

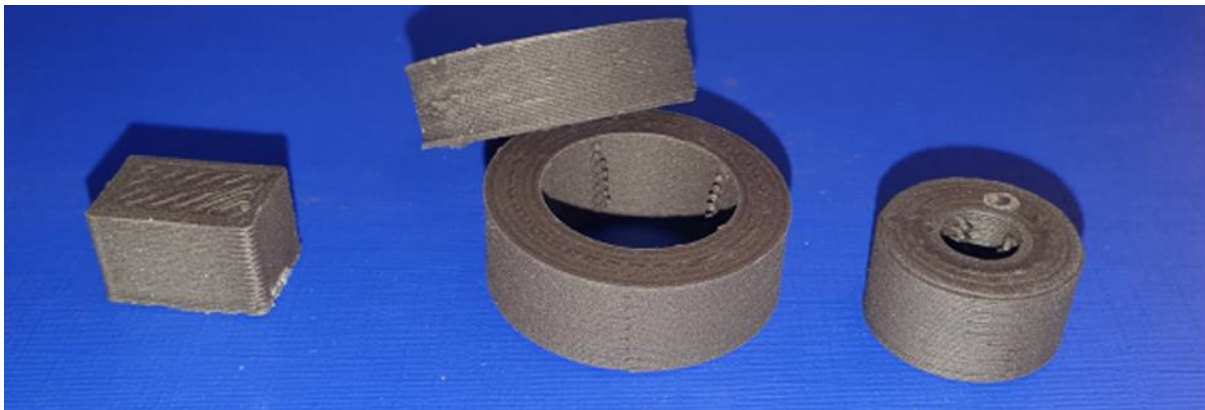


Abb. 10: Erste Testdrucke aus einem Material mit dem Ferritpulver <math><90\mu\text{m}</math>

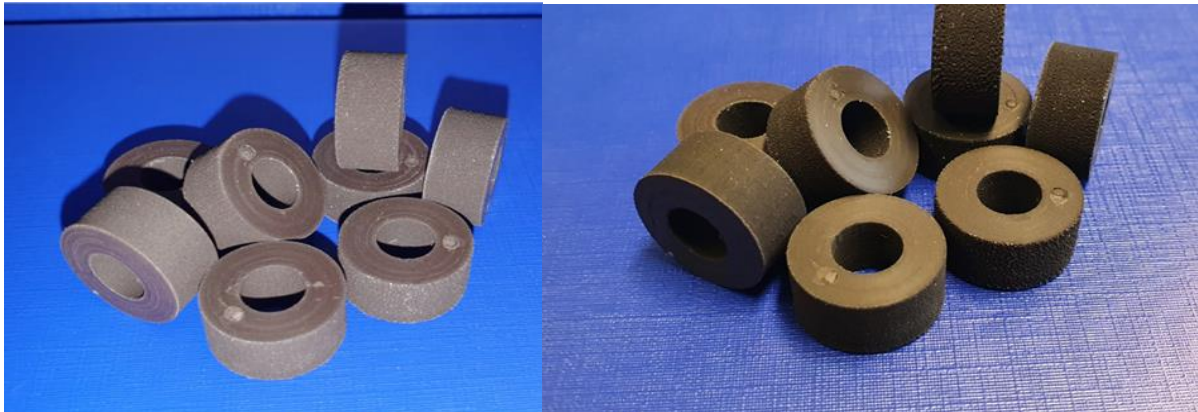


Abb. 11: Gedruckte Ringkerne als Mischung aus Pulver 0502 und 2077

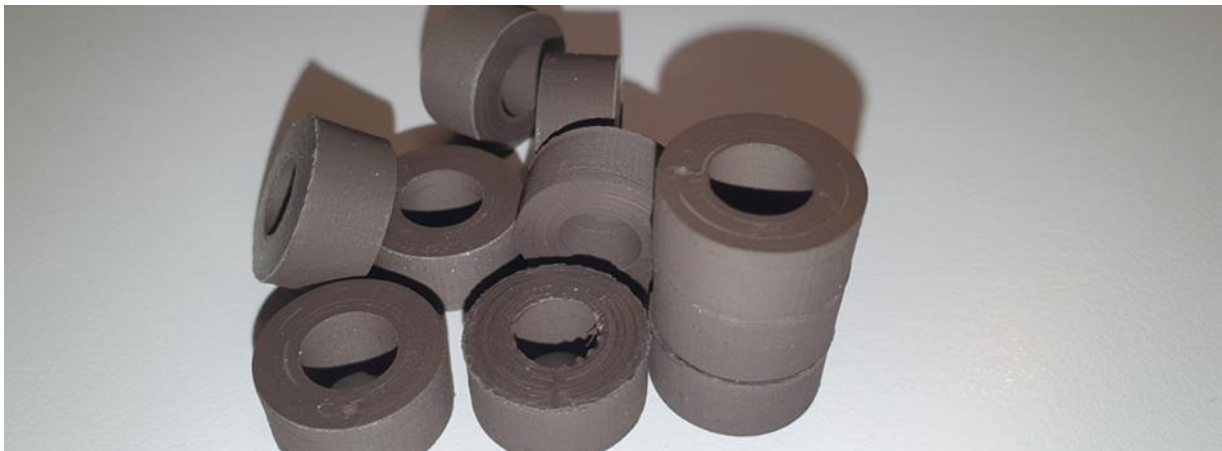


Abb. 12: Gedruckte Ringkerne aus dem Material Mf114, Größe 16x8x8 mm

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass das verwendete Polymer sich durch eine hervorragende Affinität zu den ferritischen Füllstoffen auszeichnete. Ebenso ist für den Bereich der Verarbeitung die sehr gute Prozessierung, sowohl in der Filamentherstellung als auch im Druck hinsichtlich des Polymers, als positiv zu bewerten.

Die grundlegenden Druckparameter zeigt die Tabelle 3

Parameter	Beschreibung	Anmerkung
Filamentmaterial	PeBax 5533 + Ferritpulver Partikelgrößen: 90 - 315 µm Füllgehalt: 82 - 85 Gew%	Partikelgrößen <315 µm führen zu einem Verstopfen der Düse
Druckdüsen	Verschleißbeschichtung mit Wolframkarbid	Standard-Düsen wegen hoher Abrasion ungeeignet
Düsendurchmesser	0,8 mm	Kleinere Düsendurchmesser nicht reliabel genug
Schichtdicke	0,1 mm	Geringe Schichtdicke für ein gleichmäßigeres Druckbild
Druckgeschwindigkeit	30 mm/s	Zu geringe oder hohe Geschwindigkeiten führen zu unsauberem Druckergebnissen
Drucktemperatur	Düse: 215-225 °C Heizbett: 60-90 °C	Hohe Betttemperatur erhöht Haftung
Extrusionsfaktor	1,05 bis 1,3	Je nach Material sehr hoher Vorschub erforderlich
Sonstiges	Hohe Kühlung notwendig, Lüftergeschwindigkeit bei 100%	

Tabelle 3: Druckparameter / Druckprozessoptimierung

### Charakterisierung des ferritischen Kompositmaterials

Neben den prozesseitigen Beurteilungen des Druckes, wie Haftung der einzelnen Layer, Warping (Verzug) usw. wurde die Qualität in erster Linie über die allgemeine Optik, explizit die Oberflächenqualität, getätigt.

Hier zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den verwendeten Füllstoffvarianten. Dies hing einerseits mit den Partikelgrößen der Füllstoffe zusammen (siehe Abbildung 11) ein weiterer Faktor waren die unterschiedlichen Partikelgeometrien. Die Charakterisierung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit (z.B. Permeabilitätsmessung) der Ferritkomposite / gedruckte Ringkerne erfolgte bei den Projektpartnern des Verbundprojektes, Tridelta Weichferrite GmbH und der Würth Elektronik eiSos GmbH & Co.KG



*Abb. 13: Gedruckte Ringkerne in den Dimensionen 16x8x8mm und 6,3x3,4x2,5mm mit dem Füllstoff Ni-Zn 90-315 $\mu$ m, raue Oberfläche durch große Partikelgrößen*

Zur qualitativen Kontrolle der Kompositvarianten und den daraus gedruckten Ringkerne wurden Auflichtmikroskopaufnahmen der Ringkerne hergestellt. Mit Hilfe der Schliffbilder im Querschnitt der gedruckten Ringkerne, konnten Aussagen über gleichmäßige Verteilung der Füllstoffpartikel und der Homogenität getroffen werden.

Weitere Aspekte in der Bewertung waren zum Beispiel Störstellen wie Lufteinschlüsse, Lunker oder eine mangelnde Anhaftung der gedruckten Schichten (Layer) untereinander.

Betrachtet wurden die Ringe in zwei Schnittebenen (siehe auch Abbildung 14, 15, 16), einmal im Querschnitt des eigentlichen Rings (Schnittebene 1) und linear in Richtung der Druckbahnen (Schnittebene 2)

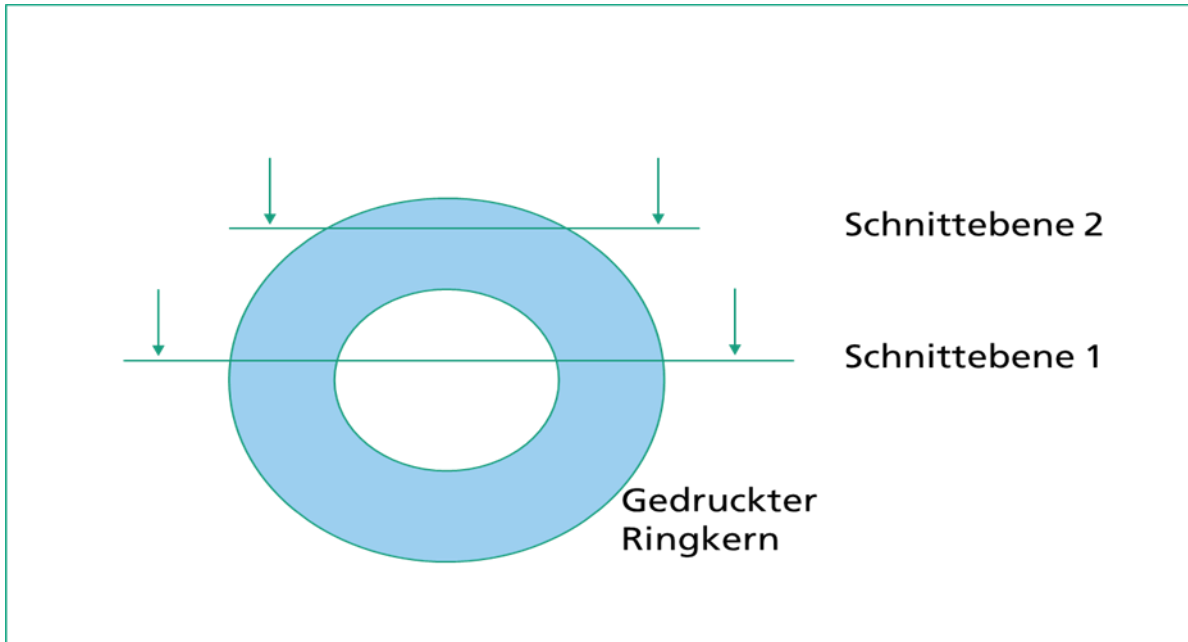


Abb. 14: Schematische Darstellung der Schnittebene der Schliffbilder

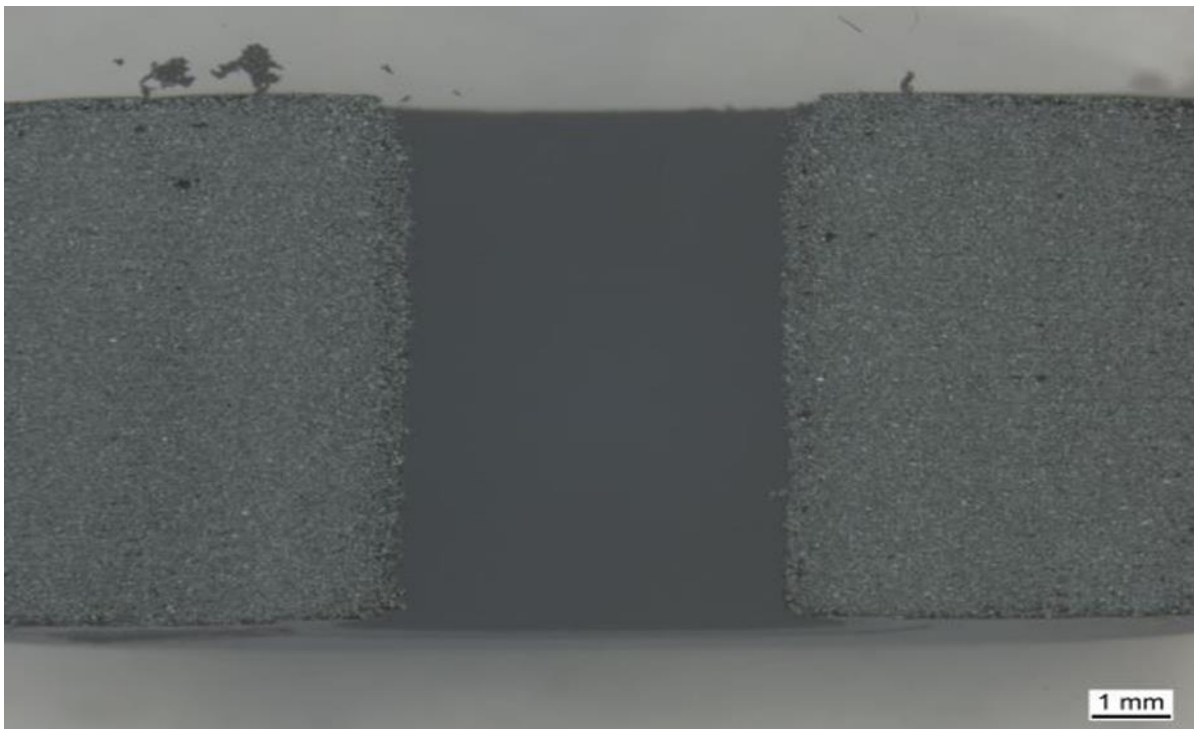
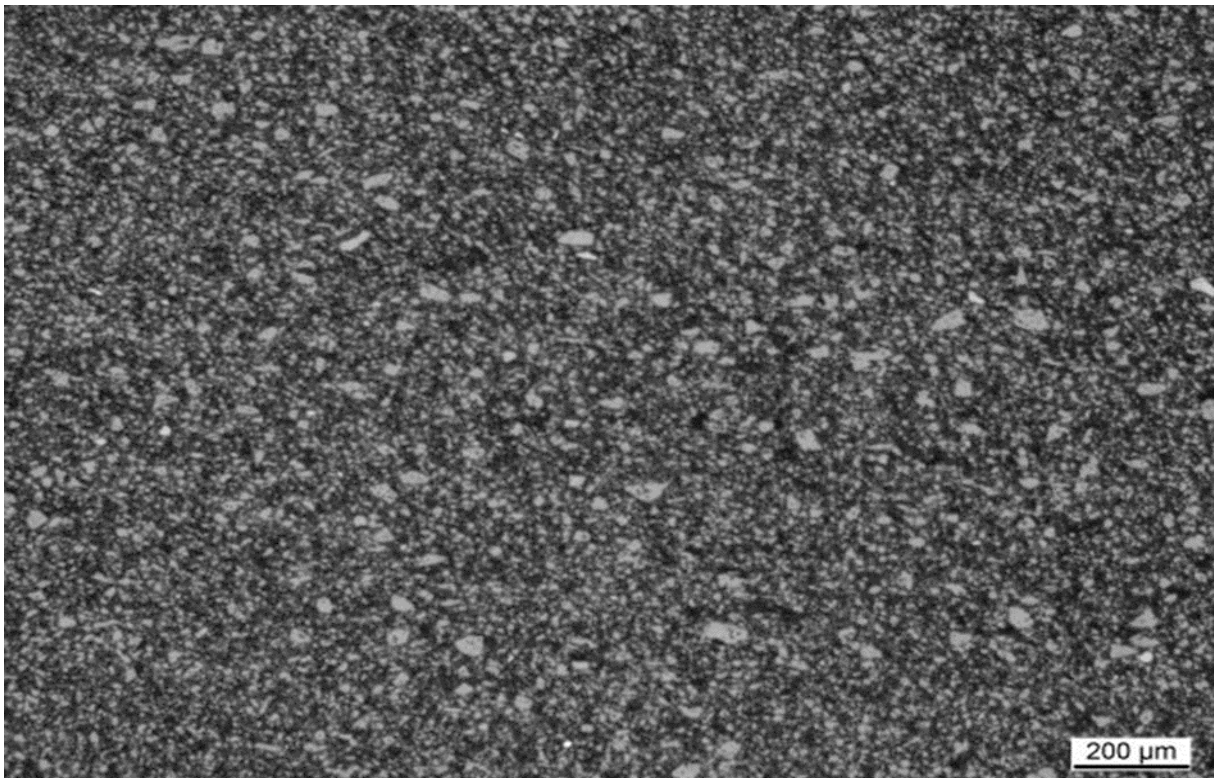


Abb. 15: Schnittebene 1 durch den Ringkern einer Probe



*Abb. 16: Schnittebene 2 durch den Ringkern einer Probe*

Grundsätzlich bestätigten die Aufnahme die durchweg positiven Erfahrungen aus den Druckprozessen. Die Aufnahmen bestätigten die gute Anbindung der einzelnen Drucklagen (Layering) untereinander bei nahezu allen Materialvarianten. Des Weiteren konnten so gut wie keine größeren Fehlstellen in den Aufnahmen lokalisiert werden. Die Homogenität der Füllstoffpartikel ließ sich als ebenso positiv bewerten (siehe Beispielbild 15). Aufgrund der Partikelform konnte selbst nach dem Drucken keine ausgeprägte Anisotropie im Gefüge festgestellt werden.



*Abb. 17: Vergrößerung in die Schnittebene 1 durch den Ringkern einer Probe*

Produktdemonstrator

Die bis hierhin dargestellten Ergebnisse führten nach der Funktions-Charakterisierung der bisher hergestellten Ringkerne zur Fertigung entsprechenden Produktdemonstratoren (Siehe Abbildung 18,19) bei dem Projektpartner Neotech AMT GmbH. Das Fraunhofer IFAM stellte hierfür die von den Projektpartner ausgewählten Kompositvarianten zur Verfügung. Anders als zu Beginn des Projektes geplant, kam im Produktdemonstrator kein Kupferbasiertes leitfähiges Filament /FFF-Druck zur Anwendung, stattdessen wurden die leitfähigen Strukturen mittels einer Silberpaste und Dispensverfahren inline (im Wechsel mit dem FFF-Druck) in den Demonstrator gedruckt. Der Wechsel von leitfähigen Kupferfilament zu Silberpaste begründete sich in dem Sachverhalt, dass das zum derzeitigen Zeitpunkt zur Verfügung gestandene Kupfer-Polymerkomposit, keine für die Anwendung ausreichende Leitfähigkeit besaß. Eine parallele Weiterentwicklung dieses Materials konnte im zeitlichen Rahmen des Projektes nicht dargestellt werden.

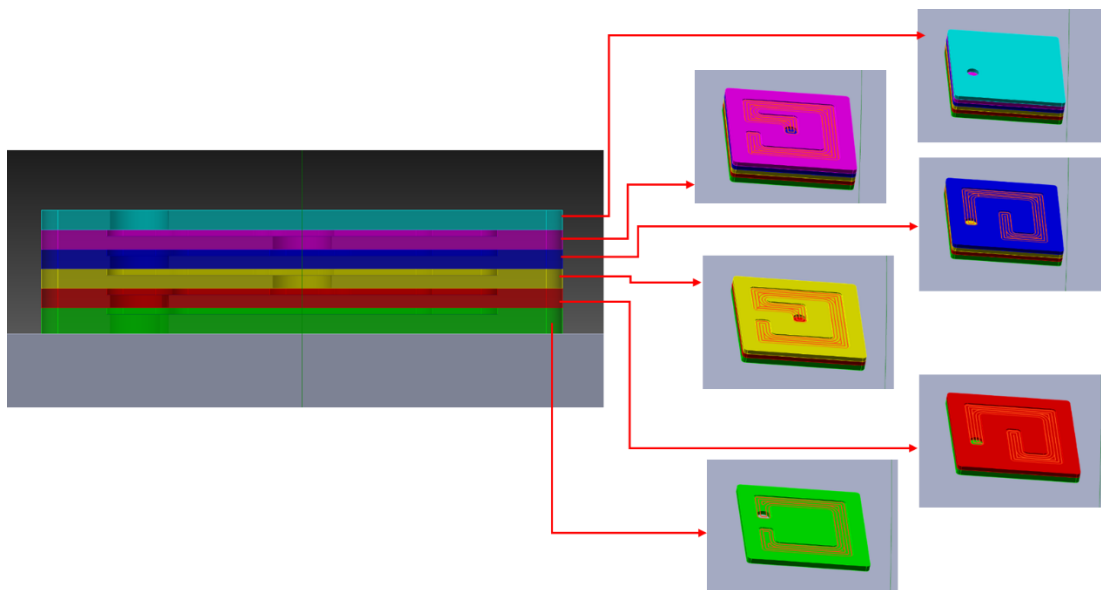


Abb. 18: Aufbau der einzelnen Druckschichten des Produktdemonstrator mit integrierter Spule

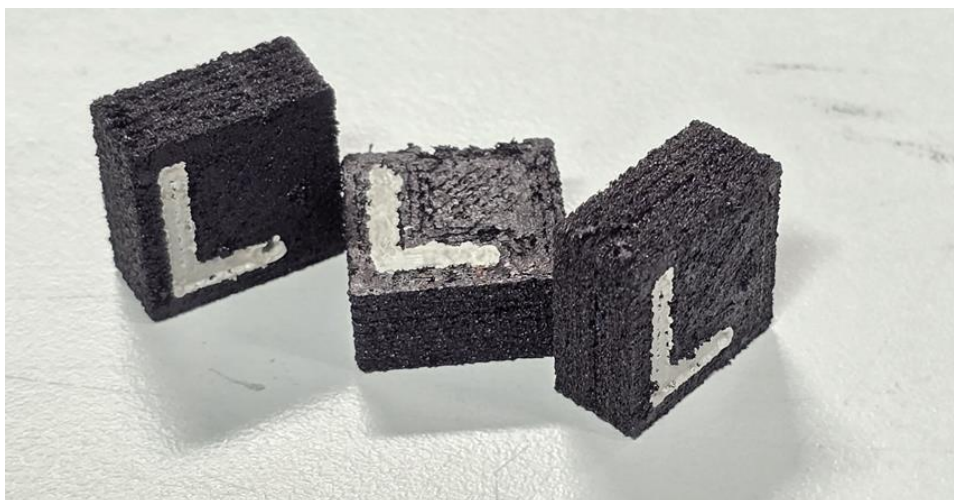


Abb. 19: Gedruckter Produktdemonstrator mit integrierter Spule

## Fertigungskonzept im Teilvorhaben des Fraunhofer IFAM

Im Anschluss an der Herstellung des Produktdemonstrators wurde ein Fertigungskonzept hinsichtlich der Arbeitstätigkeit aus Sicht des Fraunhofer IFAM als Materialhersteller – und Entwickler erstellt. Ein Fertigungskonzept stellt die in der Produktentwicklung die zweithöchste Hierarchiestufe dar. Es agiert unter der dem Produktionssystem und wird beeinflusst von Dingen wie den Rahmenbedingungen, die wiederum bedingt werden durch die Anwendung (Kunde) und der geforderten Leistung (Produkt) (siehe Abbildung 20).

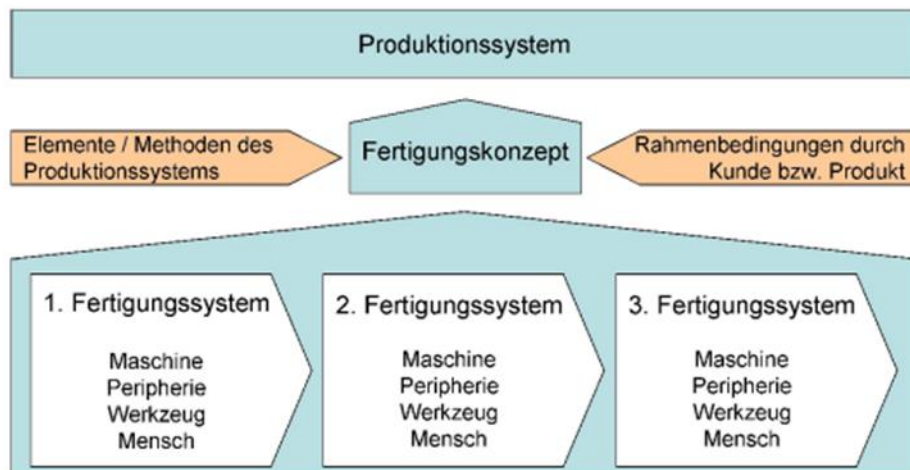


Abb. 20: Definitionsüberblick Fertigungskonzept

Bezogen auf den Projektfall Mepoferri und den im Projekt gefertigten Projektdemonstrator lieferte das Fraunhofer IFAM vorrangig entsprechend das Fertigungssystem, welches sich nach Projektende wie folgt darstellen lässt:

Maschine: In der zurückliegenden Projektlaufzeit konnte ausführlich dargestellt werden, dass thermoplastische Polymere mit ferritischen Pulvern hoch angefüllt werden können. Dies erfolgte im Gegensatz zu sonst häufig im Labor genutzten Batchsystemen, an kontinuierlichen arbeitenden Doppelschneckenknetern mit speziellen Mischblöcken an den Schnecken. Diese Systeme arbeiten nicht nur effizient und wirtschaftlich, sie stellen auch einen nahezu lückenlosen Transfer zum industriellen Standard dar. Im Projekt ließen sich so diverse Füllstoffkonzentrationen als auch Partikelverteilungen und Größen kontinuierlich in das Polymer einmischen. Die labortechnischen Ausbringungsraten lagen zwischen 3 und 5 kg / Stunde, hätten aber entsprechend auch bis auf 15 kg / Stunde gesteigert werden können.

Die Weiterverarbeitung des Komposit erfolgte an einem Einschneckenextruder zur Filamentherstellung. Auch über diese Maschine ließen sich die Materialvarianten grundsätzlich effektiv und im gewünschten Rahmen verarbeiten (bis auf eine genannte Ausnahme).

Mensch: Im labortechnischen Maßstab konnten die Materialien an den Anlagen in der Regel mit einer Person, höchstens zwei Personen hergestellt werden. Die kontinuierliche Herstellung bzw. Weiterverarbeitung bedingt den personell wirtschaftlichen Einsatz. Der Prozessablauf, das Einwiegen der Einzelkomponenten (Materialien) und das Einfahren der Maschine stellen die Hauptaufgabe dar. Im Nachgang erfolgte standardmäßig nach der Filamentherstellung ein Probedruck auf einem FFF-Drucker, bevor die Bemusterung an die Projektpartner erfolgte.

Werkzeug / Peripherie / Material: Im Projektrahmen wurde drauf geachtet, möglichst am Markt verfügbare Standardmaterialien zu verwenden. Dies bezog sich vornehmlich auf die Versorgung mit den thermoplastischen Polymeren. Additive kamen, Standpunkt jetzt, nicht weiter zum Einsatz. Die ferritischen Pulver wurden von der Tridelta Weichferrite GmbH zur Verfügung gestellt, sind aber auch kommerziell anderen Anwendern zugänglich. Alle weiteren verwendeten Anlagen, Gerätschaften und Hilfsmittel entsprachen den am Markt zugänglichen Produkten.

Gesamtheitlich betrachtet konnte im beschriebenen Teilvorhaben erfolgreich die Abfolge der einzelnen Positionen des Fertigungssystems dargestellt werden. In dem Zuge ist das Fertigungssystem des Fraunhofer IFAM positiv, als Teil des Gesamtsystems „Fertigungskonzept“ des Verbundvorhabens zu bewerten.

## **5.2 Notwendigkeit der Zuwendung und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten**

Die Erarbeitung bzw. Entwicklung von neuen funktionalen Kompositen, mit einer besonderen Füllstoffklasse wie den ferritischen Pulvern, für die Verarbeitung im additiven Verfahren des 3-Drucks, erfordert die Zusammenarbeit von unterschiedlichen Institutionen und Firmen, die auf ihren jeweiligen Tätigkeitsfeldern ausgewiesenen Experten sind. Eine solche Zusammenarbeit ist nur möglich im Rahmen eines öffentlich geförderten Projektes

Das Fraunhofer IFAM arbeitet auf den oben genannten (vorwettbewerblichen) Themen mit dem Ziel kompetenter Ansprechpartner für FuE für die deutsche Industrie zu sein. Durch kleinere FuE Projekte, studentische Arbeiten und im begrenzten Maße Vorlaufforschung, konnten die letzten Jahre Grunderfahrungen für spezielle Komposite gewonnen werden. Die hier im Vorhaben beschriebenen Arbeiten, Material- und Prozessentwicklung, im Zusammenschluss mit Industriepartnern, sind nur darstell- und durchführbar in einem Rahmen wie dem hier vorgestelltem abgeschlossenen 2,5-Jahres Projekt. Mit Hilfe von zusätzlichen Eigenleistungen konnten erste Ergebnisse im Rahmen von Networking (siehe Kapitel 8) bereits kommuniziert werden, was zu industriellen und öffentlichen Anschlussprojekten führte und so wissenschaftliche und technische Arbeitsplätze sicherte.

Die bewilligten Kosten wurden über den gesamten Vorhabenszeitraum weitgehend planmäßig gemäß dem Projektfortschritt und vollständig abgerufen.

Das Fraunhofer IFAM erhielt zu dem beantragten Thema keine weiteren öffentlichen Förderungen.

## **6 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Viele elektronische Geräte verursachen hochfrequente Störungen und können unerwünscht hochfrequente Energie über angeschlossene Kabel abstrahlen. Dabei wird die Energie als Mantelwelle aus dem Gerät ins Kabel abgestrahlt, das dabei als Antenne wirkt.

Zur Dämpfung dieser Störungen können Kabel im gesamten Querschnitt einfach oder mehrfach durch einen Ferritkern geführt werden.

Die Bauelemente aus den ferritischen Materialien werden heute üblicherweise in großen Stückzahlen in unterschiedlichen Formen aus den für den Einsatzzweck idealen Ferritpulvern gepresst und anschließend einem Sinterprozess unterzogen.

Dieser Herstellungsprozess ist nicht kurzzeitig an besondere Kundenwünsche, kleinere Losgrößen oder Sonderformen anpassbar.

Die Einführung einer digitalen, additiven Fertigung von „ferritischen-Funktionsbauteilen“ kann die Fertigung flexibler gestalten und die Kosteneffizienz, gerade bei geringeren Stückzahlen, steigern.

Die am Fraunhofer IFAM entwickelten speziellen Kompositmaterialien, Thermoplastische Träger-Polymere, in denen Funktionsmaterialien eingebunden sind, stehen als Filamente, fertig konfektioniert auf Rollen, für den 3D-Druck zur Verfügung. Darüber hinaus sind diese Materialien durch Extrudieren, Kalandrieren oder im Spritzguss verarbeitbar. Je nach Anforderungsprofil sind auch Mehrfachkombinationen von Pulvern oder Mikrofasern als Füllstoffe darstellbar. Damit ergeben sich neben den in diesem Projekt beschriebenen Eigenschaften und Anwendungsfällen zum Beispiel Funktionen wie: hoch

elektrisch leitfähig, intrinsisch sensorisch, thermisch leitfähig, hohe elektromagnetische Schirmdämpfung, Radar absorbierend usw.

Das Fraunhofer IFAM ist durch den Entwicklungsbereich der „Funktionalen Komposite“ qualifiziert, gemeinsam mit Industriepartnern, die Entwicklung an neuen Materialien und Prozessen auszubauen. Die Hauptziele sind dabei die Markteinführung von neuen Produkten aus funktionalen Materialien zu unterstützen, Kundenbedürfnisse zu erfüllen, und dabei auch Kosten- und Nachhaltigkeitsziele der Hersteller mit einzubeziehen. Darüber hinaus werden die Projektergebnisse, insbesondere auch für KMU, über Knowhow-Transfer bzw. Fortbildungsseminare und Workshops nutzbar gemacht. Zurzeit arbeitet das Fraunhofer IFAM an thematisch weiterführenden bilateralen Projekten mit der Industrie. Dabei stehen Anwendungsmöglichkeiten der neuen Materialien und die Verarbeitung in additiven Fertigungsverfahren aber auch im klassischen Spritzguss für Bauteile in der Luft- und Raumfahrt und dem Schienenverkehr, dem Maschinenbau oder der Elektrotechnik, im Mittelpunkt.

Die wissenschaftliche Verwertung der erzielten Ergebnisse erfolgte und erfolgt durch Veröffentlichungen und Vorträge auf Konferenzen bzw. Messen mit akademischen als auch industriellem Fachpublikum (für Details siehe Kapitel 8). Die Ergebnisse werden speziell anhand von gefertigten Demonstratoren interessierten Anwendern auf Fachmessen aufgezeigt. Hier seien beispielhaft die „Formnext“, „Printed Electronics“ und die „K“ genannt.

Das Fraunhofer IFAM führt eine Reihe von konkreten Entwicklungsprojekten für industrielle Kunden durch. Aus den Gesprächen mit den Kunden ist bekannt, dass ein großes industrielles Interesse am Themenfeld besteht. Die industrielle Verwertung der erzielten Ergebnisse erfolgte und erfolgt über Knowhow-Transfer bzw. Schulungen auf Fraunhofer eignen Medien, Fortbildungsseminaren und Workshops. Das studentische Wirken am Fraunhofer IFAM zu diesem Themengebiet wird unterstützt durch das Anfertigen von Bachelorarbeiten und der Durchführung studentischer Hilfstätigkeiten.

Die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit am Fraunhofer IFAM erfolgte im Rahmen des Ausbaus eines „Kompetenzzentrums“ Hybride Additive Fertigung unter Verwendung der neuartigen Materialien für die additive Hybrid-Fertigung (Spezialkomposite für FFF) sowie durch neue Herstellverfahren, Compoundieren der Funktionskomposite auch als Hochtemperaturvarianten. Des Weiteren werden Kenntnisse zu den Materialien und Prozessen in einem zukünftigen Kurs (Additive Fertigung) „der Technischen Weiterbildung“ am Fraunhofer IFAM angeboten. Diese Dinge erfolgen in Übereinstimmung der strategischen Planung für den Fachbereich „Formgebung und Funktionswerkstoffe“ des Fraunhofer IFAM.

## **7 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

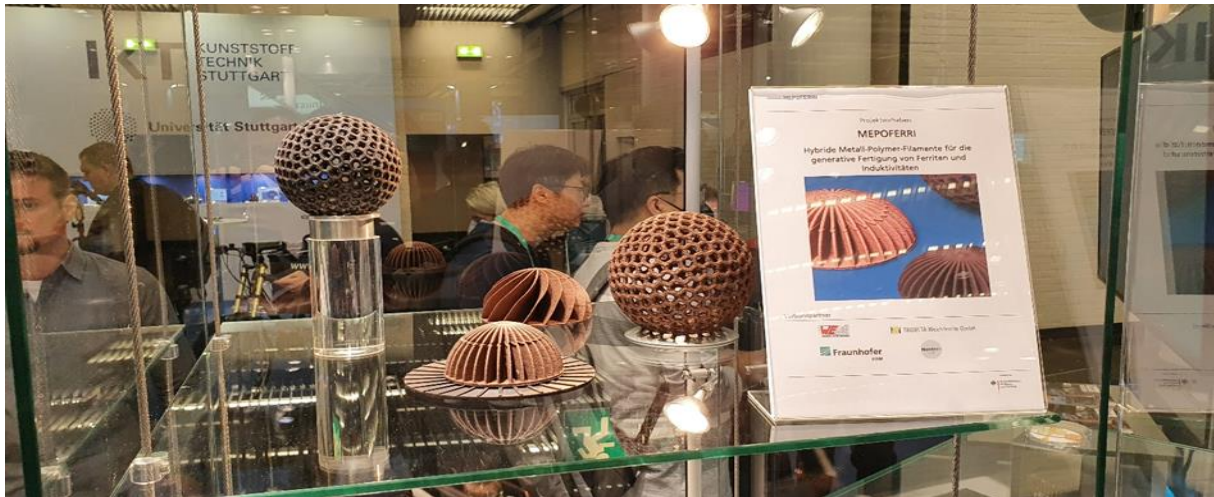
Während der Durchführung des Vorhabens wurden dem Zuwendungsempfänger keine weiteren wesentlichen Erkenntnisse von dritter Seite bekannt, die einen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens darstellten und die Projektziele beeinflussten.

## **8 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse**

Vom Fraunhofer IFAM, teils in Zusammenarbeit mit Projektpartnern wurden Ergebnisse bisher wie folgt veröffentlicht:

- Fachmessen, auf denen vom Fraunhofer IFAM Ergebnisse des Projekts MepoFerri präsentiert wurden:
  - o 2022, 2023 auf der Fachmesse und Kongress für gedruckte Elektronik LOPE-C (München) mit Messestand, Informationsmaterial und Demonstratoren.

- o 2022, 2023 auf der Formnext (Frankfurt) mit Messestand, Informationsmaterial und Demonstratoren.
- o 2022, K-Messe Düsseldorf mit Messestand, Informationsmaterial und Demonstratoren
- o 2022, Fachvortrag auf dem Statusseminar der Werkstoffplattform „HyMat“ Dresden
- o 2024, auf der Formnext (Frankfurt) Mit Messestand, Informationsmaterial und Demonstratoren
- o 2025, K-Messe Düsseldorf mit Messestand, Informationsmaterial und Demonstratoren



*Abb. 21: Präsentation erster Ergebnisse auf der K Messe und Formnext im Jahr 2022*

# Kurzbericht

## für das Teilvorhaben:

Materialentwicklung für Hybride Metall-Polymer-Filamente für die generative Fertigung von Ferriten und Induktivitäten

## im Verbundvorhaben „MepoFerri“

Hybride Metall-Polymer-Filamente für die generative Fertigung von Ferriten und Induktivitäten

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM)

Ansprechpartner Arne Haberkorn

Förderkennzeichen 03XP0372D

Bremen, im September 2024

## 1 Projektinhalt, Projektziele

Im Rahmen des Verbund-Projektes „MEPOFERRI“ sollten hybride Metall- und Ferrit-Polymer-Filamente für die generative Fertigung von Ferritkernbauteilen ausgehend von TRL 4 bis zur Demonstrations- bzw. Pilotanwendung entwickelt werden. Als weitere Ziel war, definiert, die ferritischen Kompositmaterialien in möglichst hoher Qualität, prozessseitig additiv zu verarbeiten und dabei möglichst die Kennwerte der bisher in vielen Anwendungen eingesetzten Produkte zu erreichen. Durch die generative Fertigung sollte sowohl eine digitale Designfreiheit als auch die Möglichkeit geschaffen werden, gezielt und individuell auf kleine Stückzahlen und spezielle Kundenwünsche eingehen zu können.

Das Fraunhofer IFAM war in dem Teilvorhaben federführend für die Materialentwicklung der Kompostvarianten und deren Überführung in ein zu verdruckendes Halbzeug, verantwortlich. Ferner wurde der entsprechende Druckprozess entwickelt bzw. an die Besonderheiten des neuen Materials angepasst.

Die im Projekt angedachte Lösung, die neuen Materialien über digitale Fertigungsverfahren wie dem 3D-Druck zu verarbeiten greift den generellen Trend auf, flexibel (on Demand), auch in kleineren Stückzahlen auf Kundenwünsche reagieren zu können.

Das Fraunhofer IFAM bearbeitete schwerpunktmäßig im Projekt folgende Themenfelder:

- Entwicklung hochgefüllten ferritischen Polymer-Kompositwerkstoffen, für additive Fertigungsprozesse (Fused Filament Fabrication, FFF), inklusive der Auswahl passender Matrixpolymerwerkstoffe und gegebenenfalls spezieller Additive für eine optimale Prozessierung und Weiterverarbeitung im 3D-Druck
- Entwicklung / Anpassung von additiven Fertigungsprozessen (FFF-Druck), insbesondere möglicher notwendiger Hardwareanpassungen und Prozessoptimierung
- Herstellung und Charakterisierung von Muster und Demonstrationsbauteilen in den jeweils entwickelten Material-Kompositvarianten
- Bemusterung der Projektpartner mit Material und Musterbauteilen.

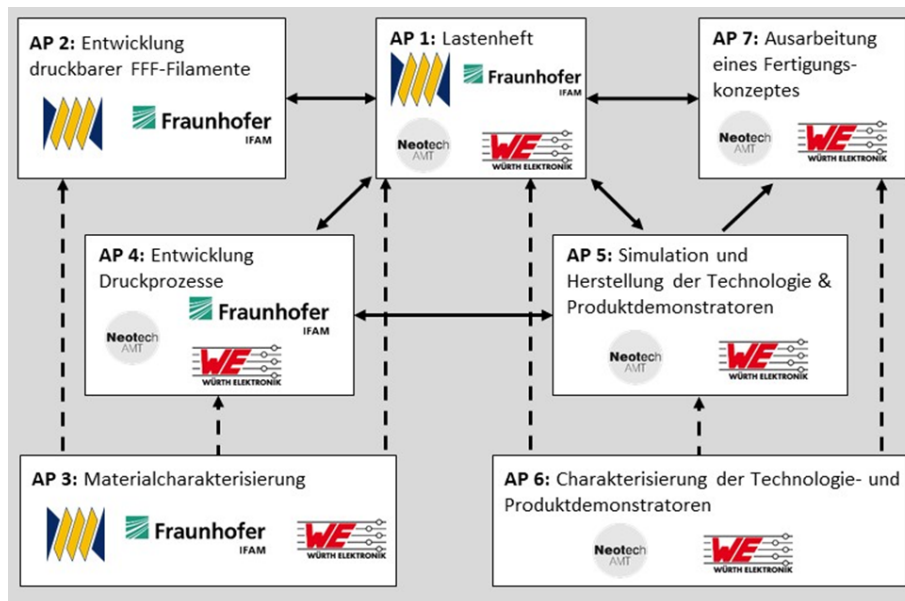
Ziel der Arbeiten des Fraunhofer IFAM war es, hinsichtlich der beschriebenen Anwendungen leistungsfähige Polymer-Ferritkomposite herzustellen, die sich neben den geforderten physikalischen Eigenschaften, zusätzlich druckprozesstechnisch ideal verhalten sollten.

## 2 Ablauf des Vorhabens

Die Arbeiten des Fraunhofer IFAM im Teilprojekt „Materialentwicklung für Hybride Metall-Polymer-Filamente für die generative Fertigung von Ferriten und Induktivitäten“ erfolgte im Verbundvorhaben Mepoferri zusammen im Konsortium mit folgenden Partnern und Schwerpunkten:

- Fraunhofer IFAM, Bremen (Forschungsinstitut): Material- und Prozessanpassungen, Materialentwicklung, Prozess-integration, technische Demonstratoren
- Neotech AMT GmbH, Nürnberg (KMU): Druckprozesse (3D-Druck (FFF), 3D-Jetting), Produktdemonstrator (Herstellung und Charakterisierung, Fertigungskonzept)
- Würth Elektronik eiSos GmbH & Co.Kg, Waldenburg: Fertigungskonzept, Materialcharakterisierung, Fertigungskonzept Produktdemonstrator (Herstellung und Charakterisierung), Lastenheft

- Tridelta Weichferrite GmbH, Hermsdorf: Materialentwicklung, Bereitstellung der ferritischen Füllstoffe, Materialcharakterisierung



Übersicht des Projektstrukturplans des Gesamtverbundes

### 3 Wesentliche Ergebnisse und ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Das Fraunhofer IFAM erbrachte seine Arbeitsleistung im vorwiegenden Teil der Arbeitspakete „Materialentwicklung für verdruckbare FFF-Filamente“ und dem sich daran anschließenden Arbeitspaket „Entwicklung Druckprozesse“ für die ferritischen Polymerkomposite. Über den zurückliegenden Zeitraum des Verbundprojektes konnten diverse mit Ferritpulver ausgestattete Komposite hergestellt, zu Filament weiterverarbeitet werden. Anschließend wurde diese, nach Anpassung des Druckprozesses (software- als auch hardwareseitig) zu vorher definierten Probekörper verdruckt und optisch als auch analytisch die Druckqualität bewertet. Die Projektpartner im Verbundprojekt erhielten des weiteren Probekörper, um diese hinsichtlich „Endstör-Leistungsfähigkeit“ zu charakterisieren.

Über eine Material-Leistungseigenschaften-Matrix wurden hinsichtlich der Demonstratorfertigung die beste Kompositvariante ausgewählt und die Projektpartner für die Demonstratorfertigung bemustert. Ein Produktdemonstrator aus einem Polymer-Ferrit-Komposit mit integrierter Spule, additiv über den 3-Druck gefertigt, konnte im Rahmen dieses Projektes hergestellt bzw. dessen Fertigung dargestellt werden.

Eine Zusammenarbeit mit weiteren Forschungseinrichtungen hat im Rahmen des Vorhabens „MepoFerri“ nicht stattgefunden.