

Sachbericht

zum Teilvorhaben:

Prozessbasierte Integration einer Rückverfolgbarkeit über den gesamten Produktlebenszyklus

im Verbundprojekt:

Integrierte Linienanwendung von polymerbasierten AM-Technologien (POLYLINE)

Zuwendungsempfänger: Additive Marking GmbH

Förderkennzeichen des Teilvorhabens: 13N15139

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2020 – 31.07.2023

1) Im Rahmen des Vorhabens durchgeführte Arbeiten

AP 1:

Die Arbeiten der Additive Marking GmbH in AP1 beschäftigten sich mit der Identifikation von Anforderungen für sämtliche Prozessschritte zur direkten Markierung von Bauteilen in der Polyline sowie einer Beschreibung der Zustände physischer Bauteile in den jeweiligen Prozessschritten. Dafür wurde in verschiedenen Workshops unter der Leitung der Projektpartner Universität Augsburg und Fraunhofer IGCV eine Soll-Prozesskette erarbeitet. An den Workshops beteiligt waren darüber hinaus die Projektpartner 3YOURMIND, Krumm, BMW Group, DyeMansion, EOS und Grenzebach. Es wurde ein Anforderungskatalog / Lastenheft für sämtliche Prozessschritte zur direkten Markierung von Bauteilen erstellt.

Außerdem wurden Recherchen und Versuche zu optischen Lesegeräten durchgeführt. Hier ergab sich eine intensive Zusammenarbeit mit der Universität Paderborn. Es wurde die Lesbarkeit von additiven Direktmarkierungen überprüft. Dabei kam es zu dem Ergebnis, dass die Dekodierbarkeit eine zusätzliche Kontrasterhöhung erfordert, sowie eine Einprägung, die im Gegensatz zu einer Aufprägung ausreichenden Kontrast für die Lesbarkeit durch einen Schattenwurf erzeugt. Diese Erarbeitung erster Anforderungen für die Bauteilmarkierung in Kooperation mit der Universität Paderborn wurden im weiteren Projektverlauf zum Druck gekennzeichnete Proben am Direkt Manufacturing Research Center verwendet.

AP 2:

In Kooperation mit dem Fraunhofer IGCV und der Universität Augsburg sind die Aktivitäten, zu berücksichtigende Daten und Schnittstellen innerhalb der POLYLINE als Prozess modelliert worden. Insbesondere die Serialisierung in Form von bauteilindividuellen Markierungen wurde in Abbildung 1 als Kernaktivität in der Prozessmodellierung berücksichtigt.

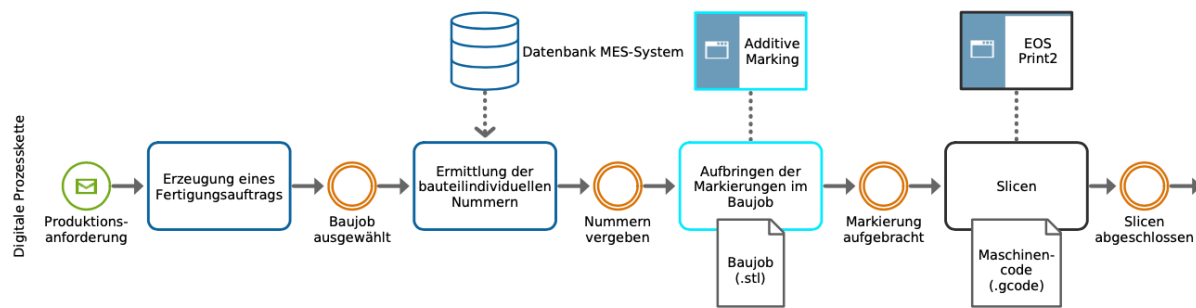


Abbildung 1: Ausschnitt der Prozesskette zur Realisierung der Bauteilkennzeichnung

Zur durchgängigen Realisierung einer Bauteilkennzeichnung durch additive Direktmarkierung wurde insbesondere die Scantechnologie berücksichtigt. Additiv im Polymer-Lasersintern realisierte Direktmarkierungen erwirken jedoch keinen Kontrast zwischen Bauteiloberfläche und Kennzeichnung, sondern lediglich eine Veränderung der Geometrie in Form einer Auf- bzw. Einprägung. Ein Auslesen kann mit den genannten Industrielesegeräten nur erfolgen, wenn ein Kontrast durch Lichteinstrahlung bzw. den entstehenden Schattenwurf erzeugt wird. Aus diesem Grund wurde gemeinsam mit der TU Dortmund ein Algorithmus entwickelt, um die Lesbarkeit der Codes mit Methoden des maschinellen Lernens robuster gegenüber schwer beeinflussbaren Lichtverhältnissen zu gestalten.

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern 3YOURMIND und EOS wurden im Rahmen des Softwareentwurfs zur Systemarchitektur notwendige Schnittstellen definiert. Der Gesamtprozess wird dabei vom MES-System (3YOURMIND) gesteuert. Die API der AMS ermöglicht es anderen Systemen auf verschiedene Markierungsmethoden zuzugreifen, um den Prozess der Serialisierung von 3D-Dateien in einen anderen Prozess zu integrieren. Abbildung 2 zeigt beispielhaft das Sequenzdiagramm für den Serialization Flow zur Markierung eines Projekts über die API. Ein analoger Flow wurde für die Serialization von einzelnen Bauteilen definiert. Die API-Dokumentation kann im Anhang (API-Dokumentation Additive Marking 1.06) nachgelesen werden.

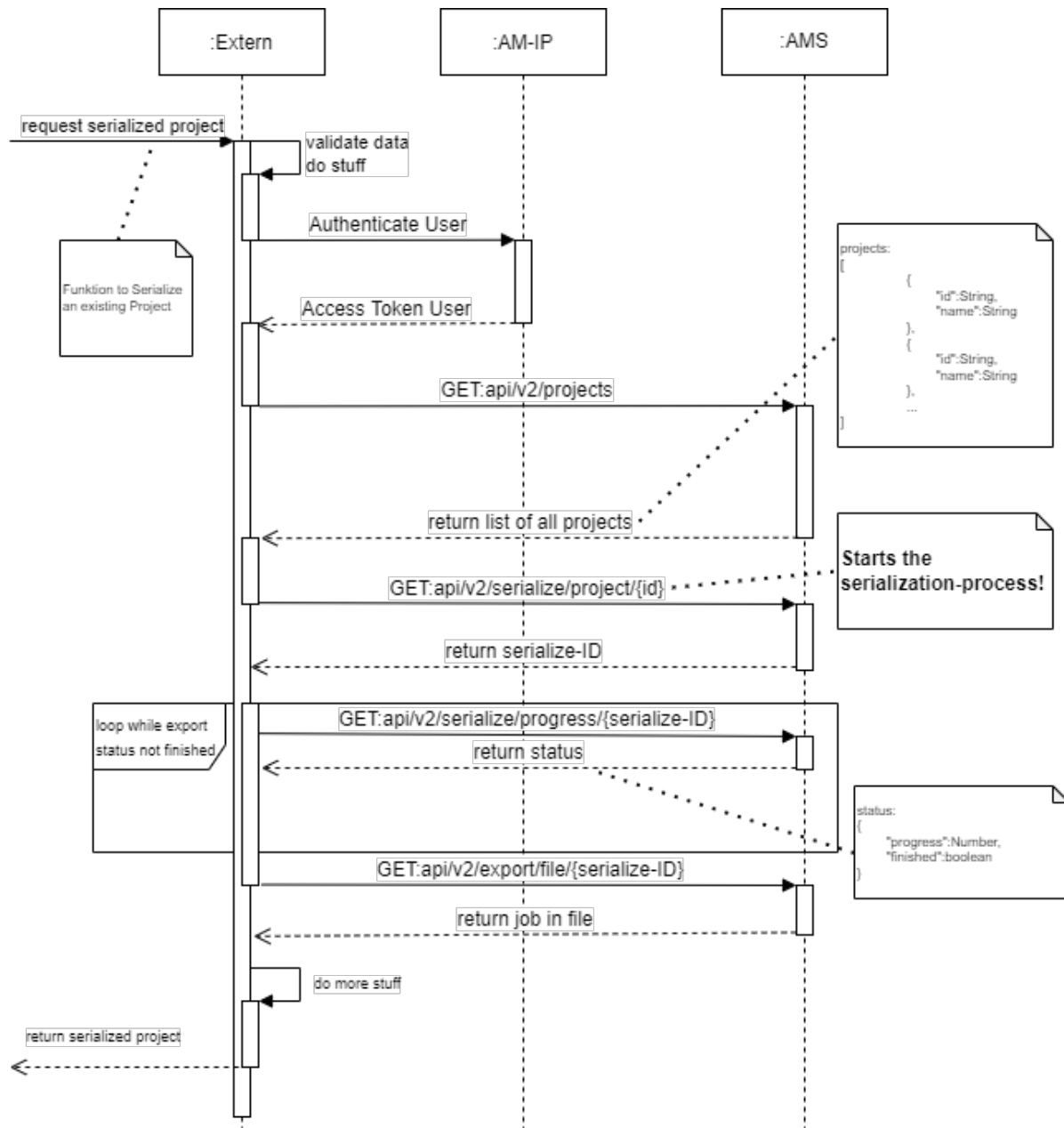


Abbildung 2: Serialization Flow für ein Projekt via API

Beginnend mit einem Aufruf werden alle notwendige Information zur Serialisierung eines Baujobs von 3YOURMIND über die AM-Schnittstelle an Additive Marking übergeben. Anschließend wird ein genesteter und serialisierter Baujob erstellt und über die EOSPrint2-Schnittstelle weitergegeben, um einen ausführbaren „Task“ anzulegen. Dieser wird über die Additive AM-Schnittstelle von Additive Marking an die 3YM-Schnittstelle weitergegeben. Im MES-System von 3YOURMIND wird im letzten Schritt das Zielsystem angesprochen, um den zuvor vorbereiteten Baujob zu starten.

Zur Definition der Systemarchitektur sowie der Schnittstellen fanden Workshops zwischen 3YOURMIND, EOS und Additive Marking statt. Hierzu wurden auf Basis des initialen Softwareentwurfs Probedurchläufe durchgeführt, welche Schwachstellen und Komplexitäten aufgezeigt haben.

Durch die Steuerung des Gesamtprozesses durch das MES-System von 3YOURMIND konnte eine Verschlankung der Schnittstellen erzielt werden. Das MES-System wird hierbei in der Rolle eines Message-Brokers integriert, über den alle Systeme, die benötigten Informationen erhalten können. Dies kann sowohl als Push- (aktive Benachrichtigung des Zielsystems) als auch Pull-Konfiguration (Zielsystem ruft die Informationen selbst ab) gestaltet sein. Dieser Prozess ist in Abbildung 3 dargestellt.

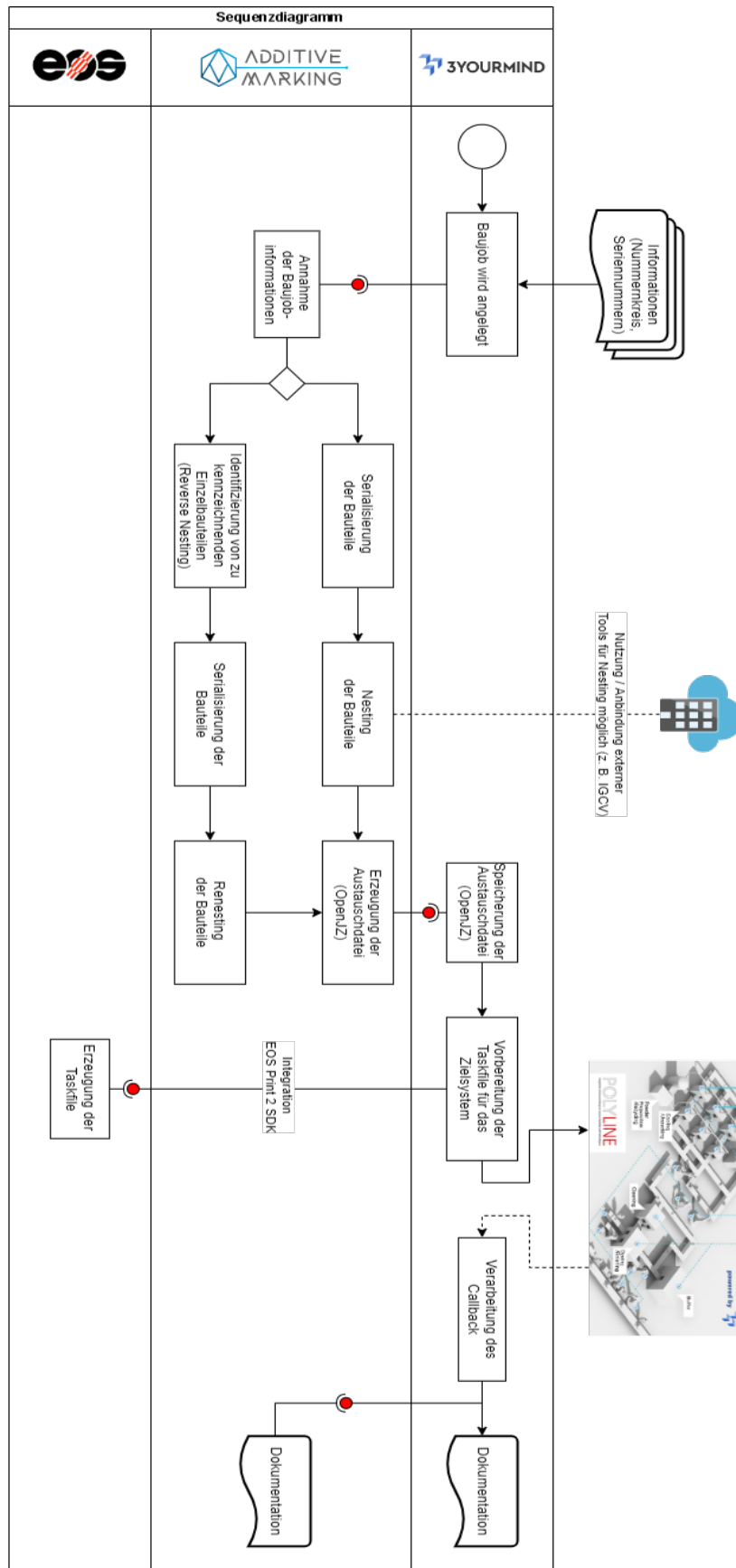


Abbildung 3: Sequenzdiagramm zu Schnittstellen zwischen 3YOURMIND, EOS und Additive Marking

Durch die Einbringung von Qualitygates in den POLYLINE Gesamtprozess, können Bauteile anhand der Kennzeichnung über den Großteil des Fertigungsprozesses identifiziert und deren Qualität dokumentiert werden. Zur Umsetzung der Qualitygates kooperieren wir im Projekt mit GRENZEBACH, mit denen diese im Anschluss an das Entpacken und Reinigen der Bauteile umgesetzt werden. Zusätzlich wurde ein Konzept ausgearbeitet, mit dem der Materialfluss auch bereits vor dem Entpacken und Reinigen zurückverfolgt und synchronisiert werden kann. Vorbereitend auf den Aufbau der Qualitygates hat Additive Marking eine Smartphone Applikation entwickelt. Diese Applikation ermöglicht das robuste und gleichzeitige Scannen von mehreren additiv gefertigten Bauteilen.

Darüber hinaus wurde eine Benutzerschnittstelle entwickelt, die es Usern ermöglicht die Bauteile ihren Anforderungen entsprechend zu markieren. Diese Nutzerschnittstelle basiert auf dem Konzept zur teilautomatisierten Kennzeichnung von Probekörpern auf Basis einer CSV-Datei (Comma Separated Values), welches mit der Universität Paderborn entwickelt wurde. Dies unterstützt den User sowohl bei der Kennzeichnung von Probekörpern als auch bei der Erstellung genesteter Baujobs. Ein Ausschnitt dieser Benutzerschnittstelle mit Beispielen für Markierungen ist in Abbildung 4 zu sehen.

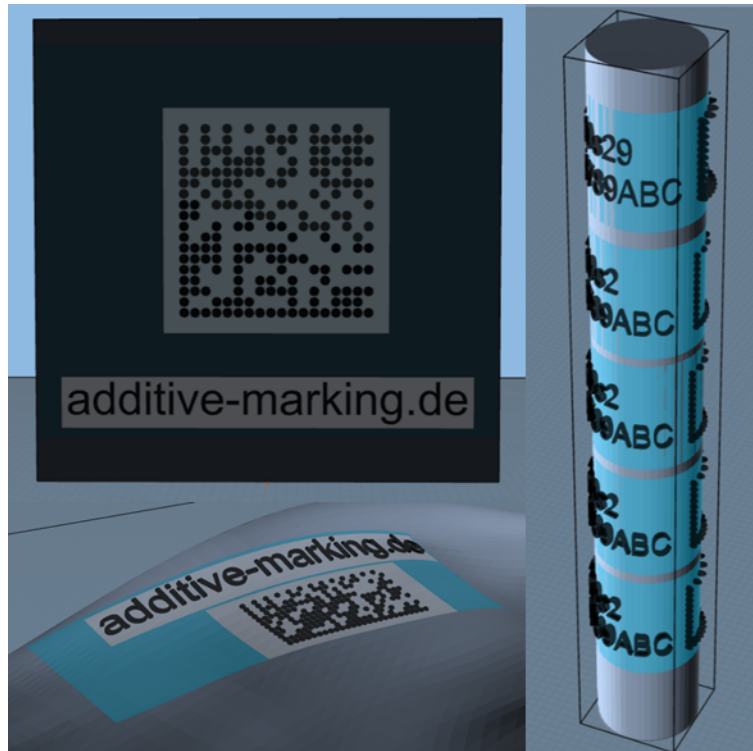


Abbildung 4: Beispiele für Markierungsvorlagen mit Klartext und maschinenlesbaren Informationen die auf verschiedene Oberflächenformen angewendet werden. **Oben links:** Glatte / plane Oberfläche. **Oben rechts:** In einem Vollkreis gebogene Vorlagen. **Unten links:** Projizierte Vorlage auf unregelmäßiger Oberfläche

AP 4:

Der Fokus des Teilvorhabens in AP 4 liegt auf der Analyse der Einflüsse der robusten Maschinenlesbarkeit der Produktkennzeichnungen. Zu betrachtende Einflüsse resultieren einerseits aus den geplanten Prozessschritten, die die additiv zu fertigenden Bauteile in der POLYLINE durchlaufen, sowie in der geometrischen Gestaltung der Produktkennzeichnungen selbst. Im Rahmen eines Design of Experiments sind daher in Abstimmung mit der Universität Paderborn Prüfkörper gestaltet worden, die bereits im digitalen 3D-Modell mit geometrisch unterschiedlich ausgeprägten Produktkennzeichnungen angereichert wurden (siehe Abbildung 5). Zur Markierung wurde die in AP2 entwickelte Benutzerschnittstelle verwendet.

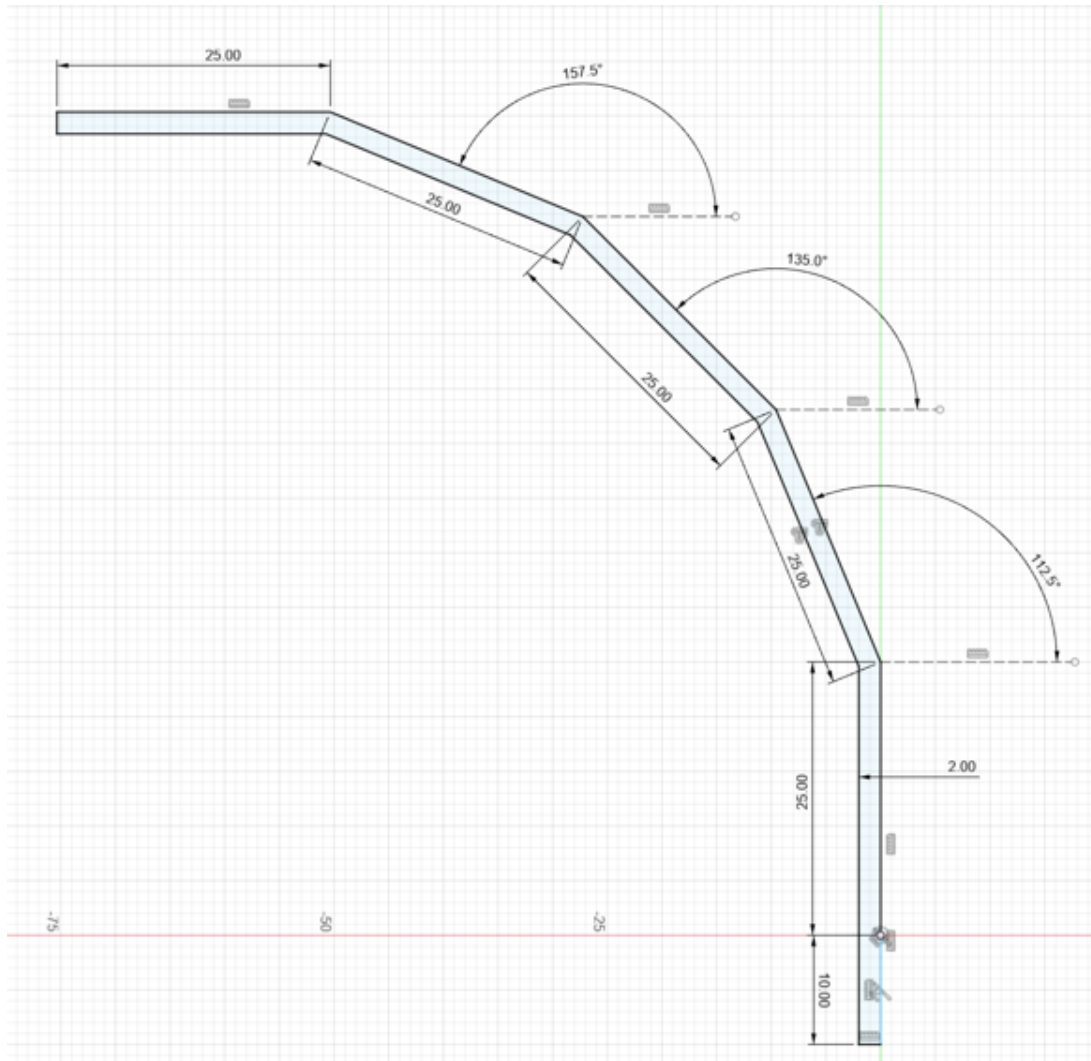


Abbildung 5: Design der ersten Prüfkörper zur Erfassung von Markierungsparametern

Die auf Basis der DoE Konzeption zu generierenden Prüfkörper wurden im Polymer-Lasersintern gefertigt und nach jedem in der POLYLINE möglichen Arbeitsschritt hinsichtlich der robusten Lesbarkeit untersucht. Aufgrund der Corona-Pandemie und den damit einhergehenden Laborschließungen konnten jedoch im Jahr 2020 noch keine Prüfkörper am DMRC gedruckt werden. Diese konnten erst im Jahr 2021 gefertigt werden.

Diese Probekörper sind nach den Ergebnissen der ersten Testserie mit den in Abbildung 6 dargestellten Probekörpern weiterentwickelt worden, um eine größere Anzahl an Testkennzeichnungen pro Probekörper zu ermöglichen. Hierdurch kann das Ergebnis des Drucks feiner in Abhängigkeit von Aufbaurichtung und Upskin- bzw. Downskin-Ausrichtungseinflüssen untersucht werden.

Mit dem Ziel robust maschinenlesbare Kennzeichnungen bereitzustellen sowie Informationen und Anleitungen für die Anwendung von additiv hergestellten Kennzeichnungen zu geben, wird auf die etablierten Standards der GS1 für Direktmarkierungen und Produktkennzeichnungen zurückgegriffen und insbesondere der GS1 Data Matrix Code¹ verwendet. GS1 entwickelt weltweite Standards für unternehmensübergreifende Prozesse und auch Kennzeichnungen.

Ein Beispiel für einen solchen Probekörper ist in Abbildung 6 zu sehen.



Abbildung 6: Weiterentwickelte Prüfkörper mit größerer Anzahl an Testmarkierungen (links) und die Codierungsvorschrift der Markierungen (rechts)

Der Data Matrix Code beinhaltet dabei kodierte Basisinformationen zum Versuchsaufbau und den einzelnen Probekörpern. Insgesamt konnten 78 Probekörper mit insgesamt 25 Codevarianten an der Universität Paderborn (DMRC) hergestellt werden (1950 Tests).

Die zu markierende Geometrie wird als STL-Datei durch den Nutzer über die entwickelte Nutzerschnittstelle in die Markierungssoftware geladen. Diese Geometrien können mit verschiedenen Vorlagen markiert werden, von denen jede mehrere Platzhalter für einzelne Kennzeichnungen enthalten kann.

Nach dem Bau der Probekörper beim DMRC der Universität Paderborn wurden die Proben im Hinblick auf die Lesbarkeit der eingebrachten Kennzeichnungen mit der AM Scan & Connect APP von Additive Marking untersucht, die bereits in Arbeitspaket 2 kurz beschrieben wurde und dort an Qualitygates und zum Tracking zum Einsatz kam. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden genutzt, um eine Dokumentation robuster Markierungsparameter zu erstellen.

Als nächsten Schritt in diesem Teilvorhaben wurden die Qualität und Lesbarkeit der Kennzeichnungen über die gesamte Prozesskette betrachtet, also insbesondere auch für professionell gereinigte und veredelte Teile, so wie sie im Prozess genutzt und verbaut

¹ Eine vollständige Referenz der GS1 Data Matrix (Rev. 2.5.1) finden Sie hier: <https://www.gs1.org/standards/gs1-datamatrix-guideline/25>

wurden. Hierfür wurde mit DYEMANSION für chemische Glättung und Färben von Bauteilen sowie mit Fraunhofer IGCV für die Überprüfung auf Pulverrückstände zusammengearbeitet. Ziel hiervon war es, optimierte Kennzeichnungsgeometrien zu entwickeln, welche über den gesamten Fertigungsprozess und Produktlebenszyklus robust les- und scanbar sind.

AP7:

Im Rahmen von AP7 wurde eine Methodik ausgearbeitet, um Bauteile beim Auspacken identifizieren zu können. Da in vorherigen Arbeitspaketen bereits Markierungsparameter ermittelt und erprobt wurden, die eine Lesbarkeit und Rückverfolgbarkeit der Bauteile über den gesamte Prozess sicherstellen, ist es möglich gewesen die Bauteilmarkierungen nach dem Auspacken direkt mit der in AP2 erwähnten Smartphone Applikation auszulesen. Über die Verknüpfung des Codes mit dem digitalen Zwilling, konnte dieser direkt im System aufgerufen werden und es konnten Qualitätsparameter sowohl für das Einzelbauteil als auch für den gesamten Baujob eingetragen und dokumentiert werden.

AP9:

Im Rahmen dieses Teilvorhabens wurde gemeinsam mit DYEMANSION und IGCV untersucht, welche Auswirkungen die (automatisierten) Prozesse der zu erarbeitenden und realisierenden Reinigungsprozesskette auf Bauteilkennzeichnungen haben, und ob Kennzeichnungen die Reinigungsprozesse erschweren. Hierzu wurde nach jedem Reinigungs- und Verarbeitungsschritt die Lesbarkeit der Codes durch Additive Marking geprüft. Anschließend wurden die Bauteile bei IGCV auf Reinheit überprüft. IGCV hat hierbei insbesondere überprüft, ob Pulverrückstände in den Kennzeichnungen vorhanden sind. Abschließend wurden die Bauteile zur umfassenden Überprüfung der Kennzeichnungen erneut an Additive Marking übersandt. Aus den Tests im Rahmen von Arbeitspaket 9 hat sich ergeben, dass nur geringe Pulverrückstände in den Kennzeichnungen vorhanden sind, die in Veredelungsprozessen entfernt werden mussten. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden die Parameter für die Markierungen so optimiert, dass sie über den gesamten Prozess eine stabile Lesbarkeit sicherstellen.

AP 11:

Aufgrund der Corona-Pandemie verzögerten sich die Arbeiten und Abstimmungen mit der Universität Paderborn und begannen im Jahr 2021.

Im Rahmen dieses Arbeitspakets liegt der Fokus der Additive Marking auf der Implementierung und Unterstützung von Qualitätsmanagement- und Qualifizierungsmaßnahmen für eine robuste vertikale und horizontale Prozesskette. Es wurden Konzepte für die automatische Kennzeichnung in Maschinenfähigkeitsuntersuchungen für kurzfristige Fertigungs- und Wiederholgenauigkeiten entwickelt. Gleichzeitig wird bei der MFU überprüft, ob die Kombination aus Material und Maschine geeignet ist. Bei einem MFU Baujob werden zahlreiche Probekörper gefertigt und analysiert, welche den Nachweis der erreichbaren Kennwerte in Abhängigkeit von Position, Orientierung, Füllgrad und ggf. Bauzeit sowie Wandstärke bringen. Diese müssen für die Auswertung eindeutig gekennzeichnet und rückverfolgbar sein.

Bei der Prozessfähigkeitsuntersuchung (PFU) geht es hingegen um die Ermittlung der langfristigen Qualität des gesamten Prozesses der additiven Fertigung als Basis für Prozessüberwachung und Lenkung z. B. in Form von Qualitätsregelkarten bzw. für statistische Prozesslenkung (SPC).

Additive Marking hat sich auf die Anwendbarkeit von automatisch erzeugten Kennzeichnungen sowie den Einsatz von maschinenlesbaren Codes für MFU bei BMW fokussiert, welcher für eine EOS P396 durchgeführt wird. Im Zentrum der MFU stehen hierbei die Werte zur Zugfestigkeit, Steifigkeit / E-Modul, Bruchdehnung und geometrischer Genauigkeit. Im Rahmen eines Workshops wurden hierfür zunächst erhoben, welche Daten und Werte zur Kennzeichnung der Proben benötigt werden und wie diese Kennzeichnung erfolgen soll. Diese Werte wurden als Vorlagen und Platzhalter hinterlegt und konnten somit standardisiert und automatisiert auf die Probekörper aufgebracht werden.

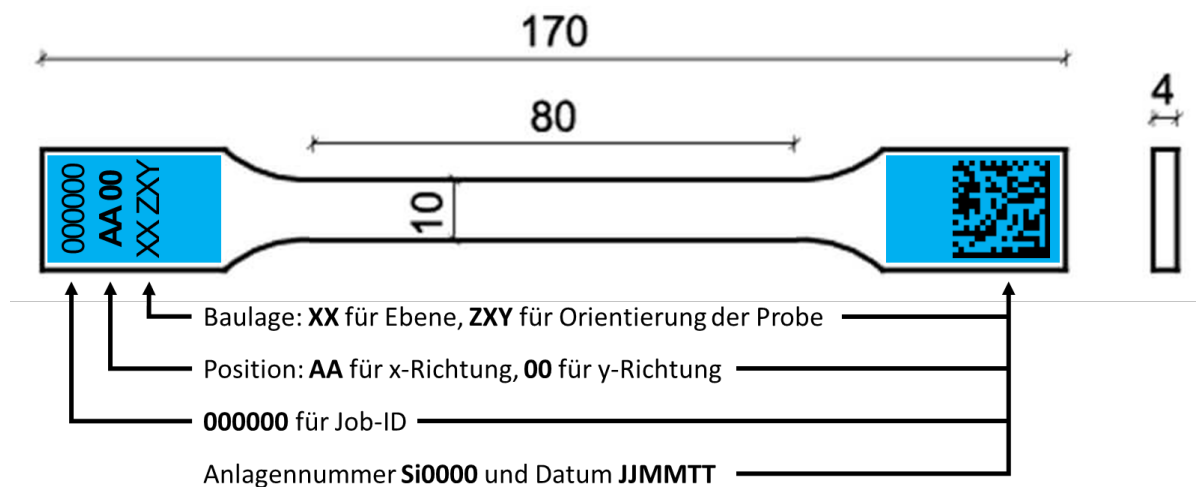


Abbildung 7: Beschriftung von Probekörpern für MFU Baujobs anhand einer Zugprobe nach DIN EN ISO 527-2-1A

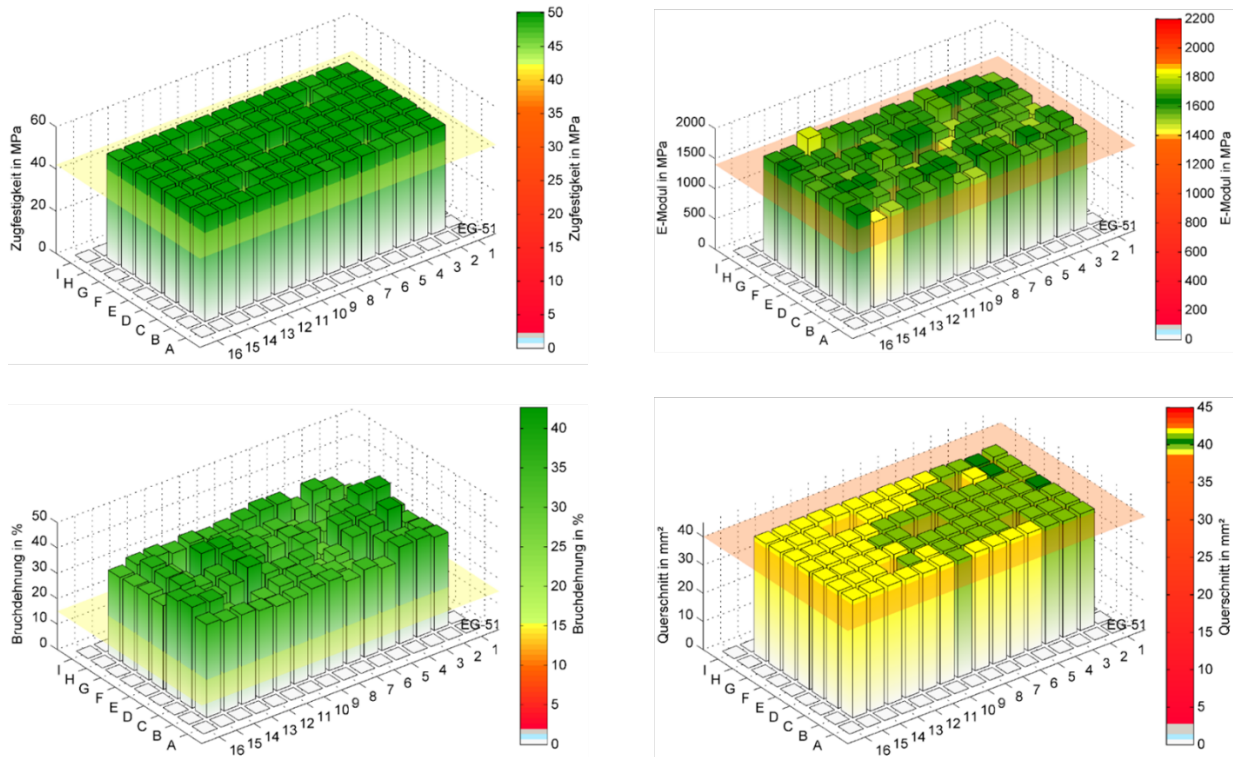


Abbildung 8: Auswertung von MFU Baujobs nach bestimmten Eigenschaften mittels Matlab (Quelle: BMW)

AP 13:

Die Hardware wurde 2023 bei BMW in Betrieb genommen.

In Vorbereitung zur Integration in die Demonstrationslinie bei BMW sind Voraussetzungen zur Integration des Servers zur Serialisierung und Synchronisierung von Statusinformationen mit den Partnern abgestimmt worden.

Zu diesen Voraussetzungen gehören unter anderem Remotezugänge, IP-Adressbereiche und weiteres. Die Identifikation der Bauteilinstanzen wird mit Hilfe der Scanlösung realisiert. Die Integration in die Roboterzelle ist gemeinsam mit Grenzebach abgestimmt, so dass die Robotersysteme gezielt einen je nach Serie zu definierenden Stichprobenumfang aus der Linienfertigung zur Qualitätskontrolle ausschleusen. Diese können dann an der Additive Marking DPM Scan Station per optischem Scan des markierten Bereichs identifiziert werden und ein Status an das Leitsystem zurückgemeldet werden. Die DPM Scan Station wurde in einem späteren Schritt noch einmal überarbeitet und durch die Additive Marking Scanbox ersetzt, welche über eine Industriekamera scannt. Sie ist mit einem Touchscreen versehen, über den auch das Programm aufgerufen und der digitale Zwilling des gescannten Bauteils angezeigt werden kann. Außerdem verfügt die Scanbox über eine eingebaute Lichtquelle und ist somit unabhängig von der Umgebungsbeleuchtung, welche bei Bauteilmarkierungen mit niedrigem Kontrast, wie Sie in Polyline demonstriert werden, einen großen Einfluss darstellt.

Außerdem wurde im Rahmen von AP13 durch Additive Marking das Gerüst der Rutsche konstruiert und aufgebaut, über welche die Bauteile zur Kontrolle ausgeschleust werden (siehe Abbildung 9).

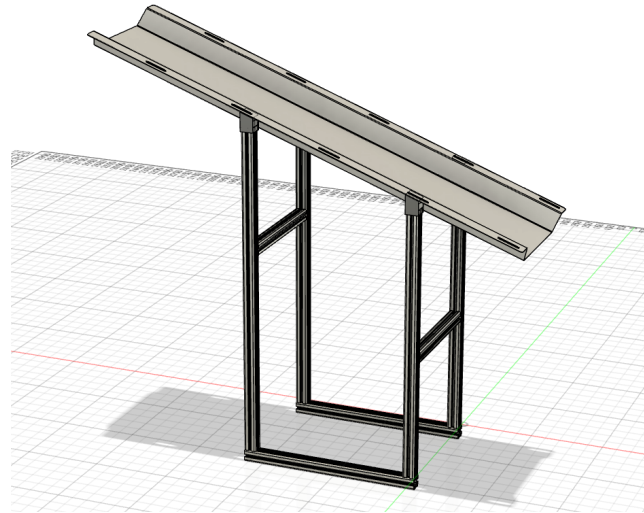
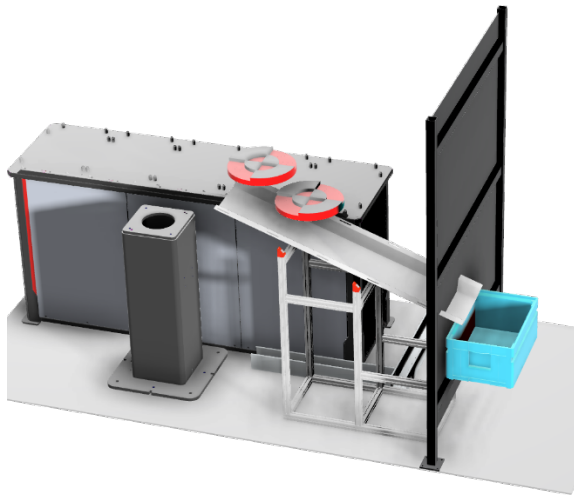


Abbildung 9: **links:** Roboterzelle mit erstem Entwurf und ungefähre Position der Rutsche, **rechts:** Konstruktion des endgültigen Rutschengerüsts



Abbildung 10: Aufgebaute Rutsche mit Ausschleusung und Additive Marking Scanbox zur Stichprobenprüfung

2) Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

2020:

Personalausgaben	66.049,60 €
Sachmittel	- €
Reisekosten	129,26 €

2021:

Personalausgaben	155.497,44 €
Sachmittel	1.511,40 €
Reisekosten	872,48 €

2022:

Personalausgaben	311.258,80 €
Sachmittel	2.869,73 €
Reisekosten	891,87 €

2023:

Personalausgaben	78.658,72 €
Sachmittel	830,40 €
Reisekosten	520,26 €

3) Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Eine Zuwendung für die Durchführung des Teilvorhabens war notwendig (Förderbedarf), weil die Aufgabenpakete in weiten Teilen wissenschaftliche Ziele verfolgen, die aufgrund ihrer Komplexität mit einem hohen Risiko behaftet sind. Weiterhin war die Additive Marking GmbH nur zusammen mit dem Verbund in der Lage, die erwarteten Ergebnisse zu erzielen. Für die komplexe Problemstellung war diese Zusammenarbeit der unterschiedlichen Disziplinen und Expertisen notwendig. Die Möglichkeit zur selbstständigen Finanzierung war bei der Additive Marking GmbH aufgrund der risikobehafteten Ziele des Teilvorhabens und dem laufenden Tagesgeschäft nicht realisierbar. Ein Zugewinn an neuen Methoden und Kompetenzen kann über den gewählten Lösungsweg erreicht und die Machbarkeit über die erfolgreiche Zusammenarbeit der unterschiedlichen Disziplinen validiert werden.

4) Voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Potenzial, das in stärker automatisierten, aber dennoch auf den Anwendungsfall oder Kunden individualisierten Produkten steckt, ist aktuell noch nicht genauer quantifizierbar. Es ist zudem davon auszugehen, dass kundenindividuelle bzw. auf den

Anwendungsfall zugeschnittenen Produkten den Kundennutzen maximieren und damit gleichzeitig die Identifikation den Produkten erhöht werden kann.

Dies ist auch ein Teilaspekt der Industrie 4.0-Strategie mit dem Ziel einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie.

Daraus ergibt sich nachfolgend zu dem Projekt eine Reihe von Optionen wie:

- Anschließende Forschungsvorhaben. Im Projekt werden Polymere und das Laser-Sintern betrachtet. Andere Verfahren sind nicht im Fokus.
- Bilaterale Vereinbarungen
- Von Kundenseite her getriebene Weiterentwicklungen bzw. Spezialisierungen
- Neue Anwendungsfelder für verwandte Aufgaben in anderen Branchen wie der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt oder anderen regulierten Branchen
- Direkte Vermarktung durch die Additive Marking GmbH und Vertriebspartner, auch in Form von Dienstleistungen zum Methodentransfer

Durch die Aktivitäten des Gesamtverbundes ist darüber hinaus eine breite Aufmerksamkeit in Industrie und Forschung zu erwarten, die nachfolgende Optionen für die Partner und Interessenten eröffnen wird.

Der Beitrag Additive Marking GmbH als Softwaredienstleister war und ist es, eine Transferrolle zu übernehmen, um Forschungsergebnisse in produktive Software zu überführen und diese nachhaltig weiterzuführen. Diese Zielstellung ist auch im Fokus der Anwender, die eine weiterführende und mindestens mittelfristige Perspektive suchen. Der Wunsch wird auch durch entsprechende Anforderungen im Kooperationsvertrag dokumentiert.

5) Sind im aktuellen Berichtszeitraum FuE-Ergebnisse Dritter bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind?

☒* Nein

☐* Ja (Erläuterung erforderlich)

6) Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

7) Literaturverzeichnis

Kurzbericht (max. 2 Seiten)

zum Teilvorhaben:

Prozessbasierte Integration einer Rückverfolgbarkeit über den gesamten Produktlebenszyklus

im Verbundprojekt:

Integrierte Linienanwendung von polymerbasierten AM-Technologien (POLYLINE)

Zuwendungsempfänger: Additive Marking GmbH

Förderkennzeichen des Teilvorhabens: 13N15139

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2020 – 31.07.2023

1) Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand der Technik, an den angeknüpft wurde

Additive Marking war an den Arbeitspaketen „Identifikation und Anforderungsanalyse“, „Digitale Prozesskette“, „Pre-Prozess“, „Auspacken“, „Reinigen und Veredeln“ und „Qualitätsmanagement und Qualifizierung“ sowie „Umsetzung Fertigungslinie“ beteiligt. Das Hauptaugenmerk lag in diesem Teilvorhaben auf der digitalen Prozesskette sowie auf dem Pre-Prozess, insbesondere auf der Parameterfindung und Sicherstellung der stabilen Lesbarkeit von Produktkennzeichnungen zur Rückverfolgbarkeit, die direkt während des additiven Fertigungsprozesses entstehen. Bei den übrigen Arbeitspaketen wurde vor allem die Identifikation und Dokumentation der Bauteile über die gesamte Prozesskette fokussiert, was die Rückverfolgbarkeit sicherstellte und somit eine Grundlage für den KVP darstellt. Das Gesamtziel lag in der Implementierung einer sicheren Rückverfolgbarkeit zur Optimierung des Qualitätsmanagements sowie zur Minimierung von Fehlern über die gesamte Prozesskette, beginnend mit der automatisierten Kennzeichnung der digitalen 3D Modelle und der Erstellung eines digitalen Zwillings im Pre-Prozess, dem Auslesen und Dokumentieren über alle Prozessschritte bis zur stichprobenartigen Überprüfung am Ende der Prozesskette. Darüber hinaus begleitet die Markierung das Bauteil auch nach der Fertigungsprozesskette und kann als Verknüpfung mit dem digitalen Zwilling über den gesamten Produktlebenszyklus genutzt werden.

Das Teilvorhaben grenzt sich vom aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik insbesondere durch den integrativen Ansatz sowie den Grad der Automatisierung ab, die direkte und untrennbare Produktkennzeichnung zur Rückverfolgbarkeit während des photonischen Fertigungsprozesses, dem Polymer Laser-Sintern, zu realisieren. In Projekten wie „O-PUR: Originäres Produktsicherungs- und Rückverfolgungskonzept“ oder „MOBILAUTHENT: Supply-Chain-übergreifende Services für die fälschungssichere Produkt-Authentifizierung und –Verfolgung“ lag der Fokus vor allem auf 2-D-Druck Technologien, die entweder nicht direkt markierten (z.B. Etiketten) oder die einen weiteren Bearbeitungsschritt erfordern. Die betrachteten Technologien sind größtenteils

industriell weit verbreitet und zielten hauptsächlich auf Fälschungssicherheit ab. [AbOW10] [MiSy12]. Nach aktuellem Stand ist eine Bearbeitung der digitalen Produktdaten je nach Art und Komplexität der Markierung nur manuell mit erheblichem zeitlichem Aufwand möglich. Eine Machbarkeit der direkten Bauteilmarkierung in einem additiven Fertigungsprozess ist im Forschungsprojekt „OptiAMix – Mehrzieloptimierte Produktentwicklung für die Additive Fertigung“ gezeigt. Im Fokus steht hier in Abgrenzung zu diesem Teilvorhaben jedoch das Selektive Laserstrahlschmelzen von Metallen, das prozess- und materialbedingt auf anderen qualitätsbeeinflussenden Fertigungsparametern basiert. International verbreitete Softwarelösungen für die Fertigungsvorbereitung in der Additiven Fertigung wie Materialise Magics oder Autodesk Netfabb erlauben zwar eine teilautomatisierte Produktkennzeichnung, sind jedoch in Ihrem Funktionsumfang so stark eingeschränkt, dass ausschließliche simple fortlaufende Nummerierungen von gleichen Bauteilen ohne die Möglichkeit einen direkten und eindeutigen Bezug zu qualitätsbeeinflussenden Fertigungsparametern wie der Positionierung im Bauraum oder der Aufbaurichtung herstellen zu können.

2) Ablauf des Vorhabens

Zunächst wurden die Anforderungen an die Markierungen und die Scanlösung erarbeitet. Um den Anforderungen gerecht zu werden, wurden Prüfkörper zur Identifizierung qualitätsrelevanter Parameter für eine lesbare Markierung über den gesamten Prozess entwickelt. Der Druck der Prüfkörper hat sich auf Grund der Covid-19-Situation jedoch verzögert. Parallel wurde in intensiver Zusammenarbeit mit der Universität Paderborn an der automatisierten Datenaufbereitung für den Pre-Prozess gearbeitet und eine Benutzerschnittstelle zur Bauteilmarkierung umgesetzt. Mit leicht verzögertem Start wurde das Qualitätsmanagement und Qualifizierungskonzept erarbeitet, hierbei lag auch ein Fokus auf dem Laser-Sinter-Prozessmonitoring als weitere Datenquelle für den digitalen Zwilling. Abschließend hat die Additive Marking GmbH die Installation und Integration der Scanlösung in die Demolinie verantwortet.

3) Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Die wesentlichen Ergebnisse sind die Erarbeitung einer automatisierten Markierungslösung, die über eine Benutzerschnittstelle sowie eine API gesteuert werden kann und sowohl einzelne Bauteile als auch ganze Projekte serialisiert und mit digitalen Zwillingen verknüpft. Es wurden Parameter zur stabilen Lesbarkeit sowie mehrere Scanlösungen erarbeitet, die in einem generischen Konzept zur Qualifizierung des Lasersinterprozesses in der horizontalen und vertikalen Prozesskette Berücksichtigung finden.

4) Literaturverzeichnis

- [AbOW10] Abramovici, M., Overmeyer, L., Wirnitzer, B.: Kennzeichnungstechnologien zum wirksamen Schutz gegen Produktpiraterie, Band 2 der Reihe „Innovationen gegen Produktpiraterie“, 2010, VDMA Verlag GmbH
- [MiSy12] Microscan Systems: Technology White Paper Auswahl der besten Direktmarkierungs-Methoden für Ihre Komponenten, Übersicht von Direktmarkierungen für verschiedene Applikationen 2012