

White Paper

Digitales Management und Monitoring additiver Fertigungsprozesse



Hintergrund und Problemstellung

Die nachhaltige und effiziente Anwendung der additiven Fertigung in der Industrie stellt die Unternehmen vor spezielle Herausforderungen. Die Prozessstabilität und Produktivität der additiven Fertigungsmaschinen entsprechen bisher nicht den industriellen Anforderungen. Darüber hinaus zeichnen sich additive Produktionen aufgrund der hohen Innovativität des Marktes sowie spezieller Geschäftsmodelle der einzelnen Maschinenhersteller durch eine Heterogenität des Anlagenparks aus. Dies impliziert, dass Maschinenroutinen, Produktionsabläufe und die Materialhandhabung für jede Maschine und Anlage spezifisch abgeleitet und durchgeführt werden müssen. Darüber hinaus müssen die verwendeten Kunststoff- und/oder Metallwerkstoffe aufgrund der Reproduzierbarkeit der Bauteilqualität und arbeitssicherheitstechnischen Richtlinien werkstoffspezifisch gelagert und handgehabt werden, was die Komplexität der additiven Produktion weiter steigert.

Mithilfe von digitalen Technologien kann die Prozesstransparenz und das Prozessmanagement gesteigert und dadurch Effizienz und die Prozessstabilität der additiven Produktion erhöht werden. Bestehende marktfähige Lösungen für Enterprise-Resource-Planning (ERP-) und Manufacturing Execution Systeme (MES) sind bisher nicht auf die Technologien und Prozessketten additiven Fertigung ausgelegt. Daher ist eine Kompatibilität einzelner Insellösungen der Maschinenhersteller mit anderen Systemen nicht gegeben und damit ein ganzheitliches Datenmanagement über der gesamten Prozesskette erschwert bzw. nicht möglich. Für kleine und mittlere Unternehmen, die in die additive Fertigung einsteigen, ist eine Investition in ein ganzheitliches Fertigungsmanagementsystem (Manufacturing Execution System, MES) wirtschaftlich nicht umsetzbar.

Zielsetzung und Nutzen

Im Rahmen des öffentlich geförderten Wissens- und Technologietransferprojekt „Anwendungszentrum 3D-Druck Oberfranken“ ist es das Ziel, einen Demonstrator „3D@4.0“ in Form einer handhabbaren integrativen Plattform zu entwickeln, mit welcher ein digitales Management und Monitoring additiver Fertigungsprozesse möglich ist. Dadurch ist es möglich, die Effizienz und die Prozessstabilität einer heterogenen additiven Produktion zu erhöhen. Dabei stehen die effiziente Umsetzbarkeit und nachhaltige Anwendbarkeit bei kleinen und mittleren Unternehmen auf Basis deren Anforderungen im Fokus des Demonstrators.

Technische Funktionalitäten der integrativen Plattform:

- Erhöhung der Prozesskettenproduktivität durch Prozessmonitoring
- Sicherstellung der Materialqualität durch Materialmanagement
- Sicherstellung der Arbeitssicherheit durch Dokumentenmanagement
- Sicherstellung der Arbeitssicherheit und Reproduzierbarkeit durch Workflowmanagement
- Realisierung einer Prozessdokumentation durch Baujobmonitoring

Aufbau der integrativen Plattform „3D@4.0“

Die integrative Plattform wurde als Web-Anwendung programmiert, sodass eine Plattform- und Systemunabhängigkeit gegeben ist. Damit kann die integrative Plattform sowohl über Tablets und Smartphones als auch über Computer aufgerufen werden. Daher wurde die integrative Plattform responsiv gelayoutet und programmiert. Abbildung 1 zeigt die Landingpage der integrativen Plattform. Dabei wurde die Bereichsstruktur des Anwendungszentrums 3D-Druck Oberfrankens am Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth übernommen und Untermodule für die Bereiche „Metall-Pulver“, „Polymer-Pulver“ und „Strang & Fluid“ angelegt. Im Untermodul „Digitale Fertigung“ kann die integrative Plattform im Frontend modifiziert werden.



Abbildung 1: Landingpage der integrativen Plattform

Prozessmonitoring

Ziel des Moduls zum Prozessmonitoring ist das echtzeitnahe Zustandsüberwachung und -visualisierung der Fertigungsmaschinen im Anwendungszentrum. Diese Anbindung basiert dabei auf zwei Schnittstellen. Zum einen werden die additiven Fertigungsmaschinen in den Bereichen „Metall-Pulver“, „Polymer-Pulver“ und „Strang & Fluid“ über die quelloffene Datenschnittstelle und Datenformat OPC-UA angebunden. Diese Schnittstelle ermöglicht es, über einen quelloffenen Treiber die Maschinendaten abzurufen und über eine echtzeitnahe Auswerterroutine über ein PHP-Skript in die integrative Plattform einzubinden. Die übermittelten und übergebenen Maschinendaten, die für das Monitoring relevant sind, sind der Betriebszustand der Maschine (an/aus), die Restlaufzeit des aktuell laufenden Fertigungsprozesses sowie der Fehlerzustand (ja/nein). Die Fertigungsmaschinen, die nicht über eine OPC-UA-Schnittstelle verfügen, können zum jetzigen Zeitpunkt nicht in die integrative Plattform eingebunden werden. Die Programmierung eines Treibers zur Konvertierung von speziellen Gerätesprachen in den Datenstandard OPC-UA ist aktuell in der Ausarbeitung.

Die zweite Schnittstelle zum Prozessmonitoring ist die Einbindung eines Live-Bildes einer Webcam. Die Maschinen im Anwendungszentrum, die bereits bauseitig über eine Webcam verfügen, übertragen das Livebild über den oben beschriebenen Datenstandard OPC-UA. Für die Maschinen ohne bauseitige Webcam wurde ein kompaktes Kamerasystem auf Basis des Einplatinencomputer „Raspberry PI“ entwickelt. An diesen Computer sind bis zu zwei Schmalbandkameras für den optischen Wellenlängenbereich angeschlossen, die den aktuellen Fertigungsfortschritt und ggfs. Fehlerbilder übertragen. An den Einplatinencomputer können dabei bis zu vier Kameras mit unterschiedlichen Wellenlängenbereichen (optischer, infraroter und ultravioletter) angeschlossen werden.

Zusätzlich wurde zur Optimierung des Workflows und des Monitorings der Belegung der Maschinen und Anlagen ein multioptionaler Kalender integriert, der eine Buchung und damit eine Auslastungsdokumentation der Maschinen und Anlagen erlaubt. Abbildung 2 zeigt das Prozessmonitoring für den Bereich „Strang & Fluid“ mit dem Monitoring der Fertigungsanlagen und der Maschinenbuchung.

Die Einbindung der Steuerung der Lüftungsanlagen für die eingehausten Bereiche „Metall-Pulver“ und „Polymer-Pulver“ ermöglicht ein Monitoring der Betriebszustände der Lüftungsanlagen als auch der Betriebslaufzeiten. Das vereinfacht die Wartung der Filtereinheiten der Lüftungsanlagen, die laufzeitbezogen ausgelegt ist. Hierfür wurde Befehlsübergabe und -übernahme der SIEMENS Logo!-Steuerung über Javascript als auch über das Netzwerkprotokoll SSH im Institutsnetzwerk programmiert.

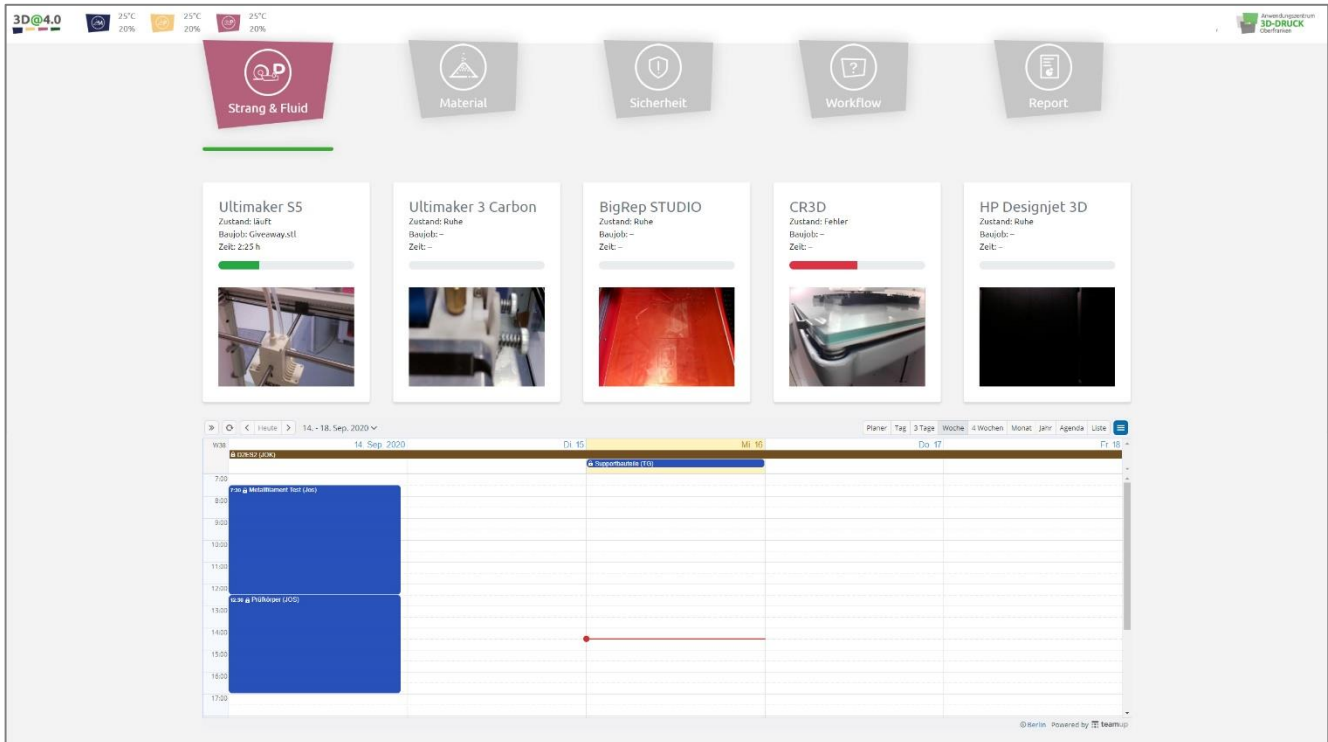


Abbildung 2: Prozessmonitoring im Bereich „Strang & Fluid“ mit Anlagenmonitoring und Anlagenbuchung

Materialmanagement

Ein großer und heterogener Maschinenpark bedingt, dass eine Vielzahl von unterschiedlichen Materialien benötigt und daher gelagert werden müssen. Dies und die Anforderungen an die Arbeitssicherheit und Lagerbedingungen erfordern ein Materialmanagement. Materialien insbesondere für die additiven Fertigungsverfahren Stereolithographie und Laserstrahlschmelzen müssen auf Basis deren Sicherheitsdatenblättern und der darin ausgewiesenen Gefährdung für Mensch und Natur in speziellen Lagerschränken gelagert werden. Darüber hinaus sind insbesondere Kunststoffe, die mit dem additiven Fertigungsverfahren der Materialextrusion verarbeitet werden, unter anderem hygroskopisch und UV-sensibel. Dies bedingt zur Sicherstellung der Reproduzierbarkeit der Bauteilqualität spezielle Lagerbedingungen. Daher erfolgt das Materialmanagement im Anwendungszentrum 3D-Druck Oberfranken durch das integrative Tool „3D@4.0“ im Modul Materialmanagement mit dem Fokus auf den Bereich „Strang & Fluid“ (vgl. Abbildung 3).

In einer Datenbank sind alle für das Management sowie die Einhaltung der Lagerbedingungen und der Haltbarkeit der Materialien hinterlegt. In der integrativen Plattform „3D@4.0“ kann das betreffende Material ausgewählt werden und virtuell ausgelagert werden. Dazu werden Materialkennwerte und empfohlene Fertigungsparameter ausgegeben. Bei der virtuellen Einlagerung der Materialien wird über einen angebotenen Etikettendrucker ein Etikett mit relevanten Materialdaten und Lagerbedingungen ausgegeben, sodass das physische Management der Materialien effizient ermöglicht wird. Gleichzeitig kann das Modul des Materialmanagements genutzt werden, um eine Inventur der vorrätigen Materialien durchzuführen, um Lager- und Logistikkosten zu reduzieren.

| * id | Material | Farbe | Hersteller | Masse (g) | Status | eingelagert/ entnommen | beschafft |
|------|----------|-----------------|------------|-----------|--------|---------------------------|------------|
| 1 | PVA | Natural | Ultimaker | 350n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 2 | PLA | Rot | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 3 | PLA | Transparent | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 5 | PLA | Orange | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 4 | PLA | Grün | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 6 | PLA | Silber-Metallic | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 7 | PLA | Magenta | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 9 | PLA | Schwarz | Ultimaker | 390n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 10 | PLA | Transparent | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 11 | CPE | Grün | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 12 | TPU95A | Weiß | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 8 | PLA | Grün | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |
| 13 | TPU95A | Weiß | Ultimaker | 750n | Lager | 17/03/2020 | 17/03/2020 |

Abbildung 3: Materialmanagement im Bereich „Strang & Fluid“

Dokumentenmanagement

Im Modul Dokumentenmanagement werden für die Prozesse und Maschinen relevanten arbeitssicherheitstechnischen Dokumente, wie beispielsweise Gefährdungsbeurteilungen, Betriebsanweisungen und Sicherheitsdatenblätter geordnet bereitgestellt. Darüber hinaus ermöglicht der zentrale Abruf für die Arbeits- und Wartungsabläufe relevanten Dokumente wie Betriebsanleitungen und Wartungs- und Reinigungspläne die Steigerung der Effizienz und Arbeitssicherheit der gesamten Prozesskette. Abbildung 4 zeigt die Übersicht der Prozess- und Maschinenspezifischen Dokumente im Modul Dokumentenmanagement.

| Dateiname | Zuletzt geändert | Typ |
|---|----------------------------|------|
| SOB-Argon | November 08 2018 13:16:30. | pdf |
| GFB Argonversorgung | May 20 2019 15:55:47. | pdf |
| BA Argonversorgung | May 20 2019 18:38:55. | pdf |
| GFB Argonversorgung | May 20 2019 15:55:47. | pdf |
| Kurzanleitung_Austausch_Argonblindel | November 09 2018 10:40:53. | docx |
| Dokumentation_PfÜfung des automatischen Abschaltens der Argonversorgung | May 14 2019 15:01:37. | docx |
| Gebrauchsanweisung-Entspannungsstation | November 09 2018 13:24:49. | pdf |
| BA Argonversorgung | May 20 2019 18:38:55. | pdf |

BANDSÄGE
ENTSORGUNG
LÜFTUNG
MATERIAL
NACHBEARBEITUNG
NASSABSCHIEDER
ORLAS CREATOR INKL. SIEBMASCHINE

Abbildung 4: Dokumentenmanagement im Bereich „Metall-Pulver“ der Fertigungsmaschine und Peripherieanlagen

Workflowmanagement

Die Prozesse und Prozessketten der additiven Fertigung zeichnen sich durch eine hohe Komplexität aus. Darüber hinaus entsprechen diese Prozesse und Maschinen oftmals noch nicht den industriellen Anforderungen, insbesondere in Bezug an die Reproduzierbarkeit und Arbeitssicherheit. Daher ist der Betrieb der Maschinen, insbesondere beim Prozess des Laserstrahlschmelzens, mit einer Vielzahl von Standardisierungsabläufen im Kontext der Prozessoptimierung/5S sowie organisatorischen Betriebsanweisungen im Kontext der Arbeitssicherheit verbunden. Die Umsetzung dieser Betriebsanweisungen erfolgt im Anwendungszentrum 3D-Druck Oberfranken über digitale Arbeitsablaufkarten und Checklisten (vgl. Abbildung 5). So sind die organisatorischen Arbeitsabläufe beim täglichen Betreten des Labors „Metall-Pulver“, beim Verlassen des Labors und bei der wöchentlichen Reinigung hinterlegt und können über ein Tablet per Tastendruck abgearbeitet werden. Darüber hinaus sind in der integrativen Plattform Checklisten zur Durchführung von sporadischen Prozessschritten (beispielsweise Filterwechsel der Laserstrahlschmelzmaschine) und zur Reinigung und Wartung der Maschinen und Anlagen hinterlegt. Aufgrund der fehlenden Routine und beschriebenen Komplexität insbesondere der sporadischen Prozessschritte können zusätzlich Texte, Foto- und Filmaufnahmen als Dokumentation und Arbeitsanleitung in das Modul Workflowmanagement integriert und vom Nutzer aufgerufen werden.

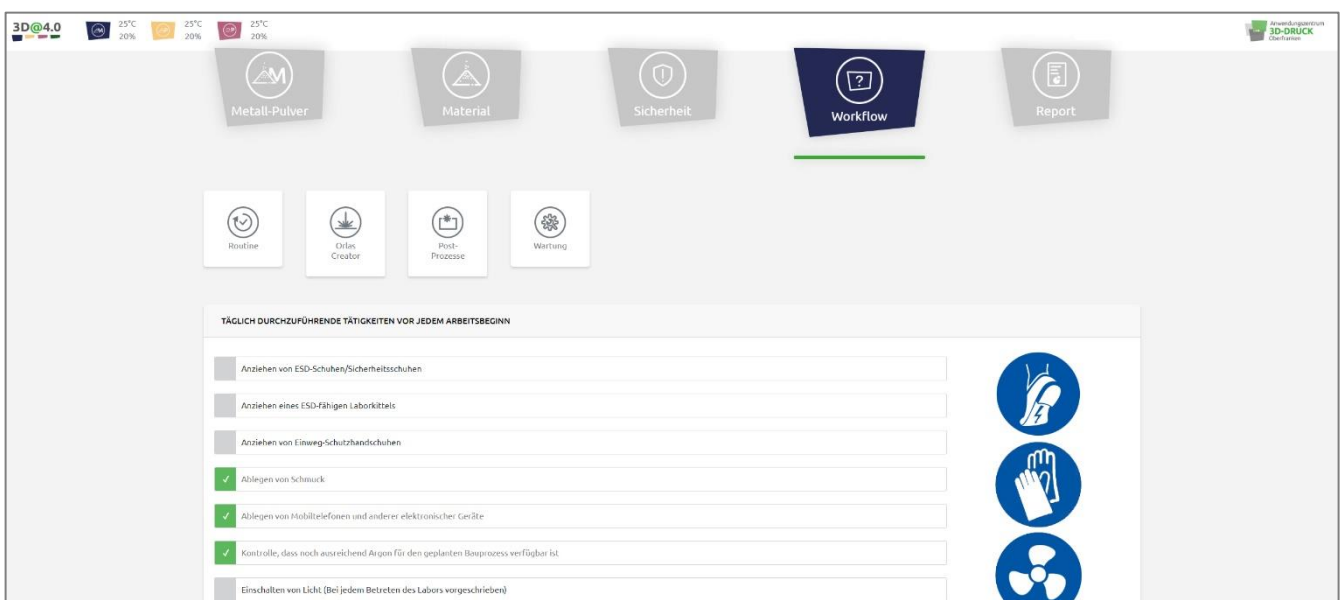


Abbildung 5: Workflowmanagement über digitale Checklisten und Arbeitsablaufkarten

Baujobmonitoring

Der erste Schritt der Qualitätssicherung additive gefertigter Bauteile im Anwendungszentrum 3D-Druck Oberfranken erfolgt über das Baujobmonitoring in der integrativen Plattform „3D@4.0“. Das Modul Baujobmonitoring ermöglicht dabei die Eingabe von Texten und das Hochladen von Fotoaufnahmen zu jedem Baujob für die Prozessebenen Pre-Prozess (Anlagen- und Dateivorbereitung), In-Prozess (Fertigungsprozess und verfahrensspezifische Nachbearbeitung) und Post-Prozess (anwendungsspezifische Nachbearbeitung). Abbildung 6 zeigt die Eingabemaske des Baujobmonitorings im Bereich „Metall-Pulver“. Dabei kann ein Datensatz bei Beginn des Pre-Prozesses jedes Baujobs angelegt und generisch bis zur Fertigungstellung des Bauteils ergänzt werden. Nach Abschluss des Baujobs kann automatisiert über ein PHP-Skript eine Dokumentationsdatei mit allen eingegebenen und

hochgeladenen Fotoaufnahmen erstellt werden, was als Zertifizierungsbericht des gefertigten Bauteils genutzt werden kann.

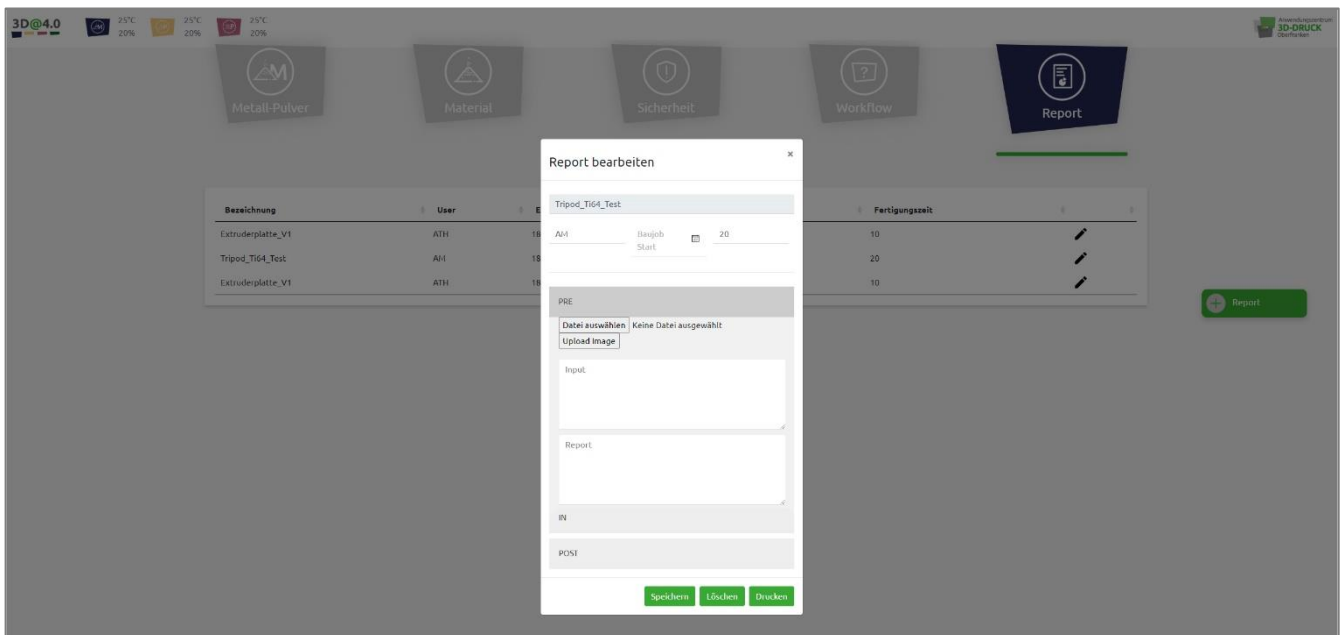


Abbildung 6: Baujobmonitoring im Bereich „Metall-Pulver“

Fazit

Mittels des Demonstrators „3D@4.0“ in Form einer handhabbaren integrativen Plattform ist es möglich, additive Fertigungsprozesse der Materialextrusion, des High Speed Sinterns als auch des Laserstrahlschmelzens digital zu managen und zu monitoren. Durch die daraus resultierende Prozesstransparenz ist es möglich, die Effizienz und die Prozessstabilität einer heterogenen additiven Produktion zu erhöhen, was eine Schlüsselanforderung zur weiteren Marktdurchdringung der additiven Fertigung darstellt.