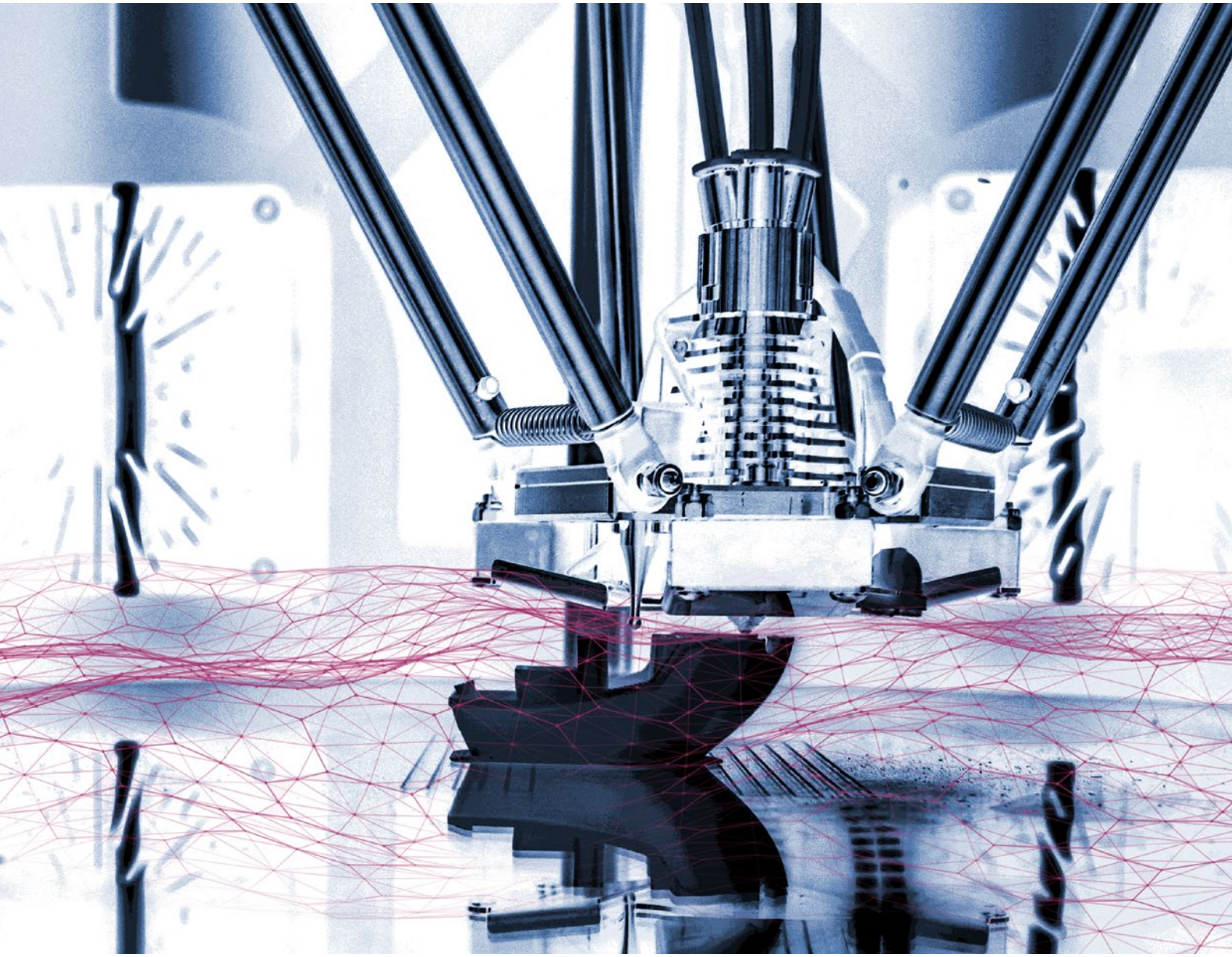
PAiCE



PAiCE-MONITOR

3D-Druck

Impressum

Herausgeber
Begleitforschung PAiCE
iit – Institut für Innovation und Technik in der
VDI / VDE Innovation + Technik GmbH
Peter Gabriel
Steinplatz 1
10623 Berlin
gabriel@iit-berlin.de
www.paice.de

Autoren
Dr. Tom Kraus | 030 310078-5615 | kraus@iit-berlin.de
Stephan Richter | 030 310078-5407 | srichter@iit-berlin.de

Gestaltung
Loesch*Hund*Liepold
Kommunikation GmbH
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin
paice@lhlk.de

Stand
November 2019

Bildnachweis
ilyaplatonov – stock.adobe.com (Titel und S. 4)
Maxim – stock.adobe.com (Titel)

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

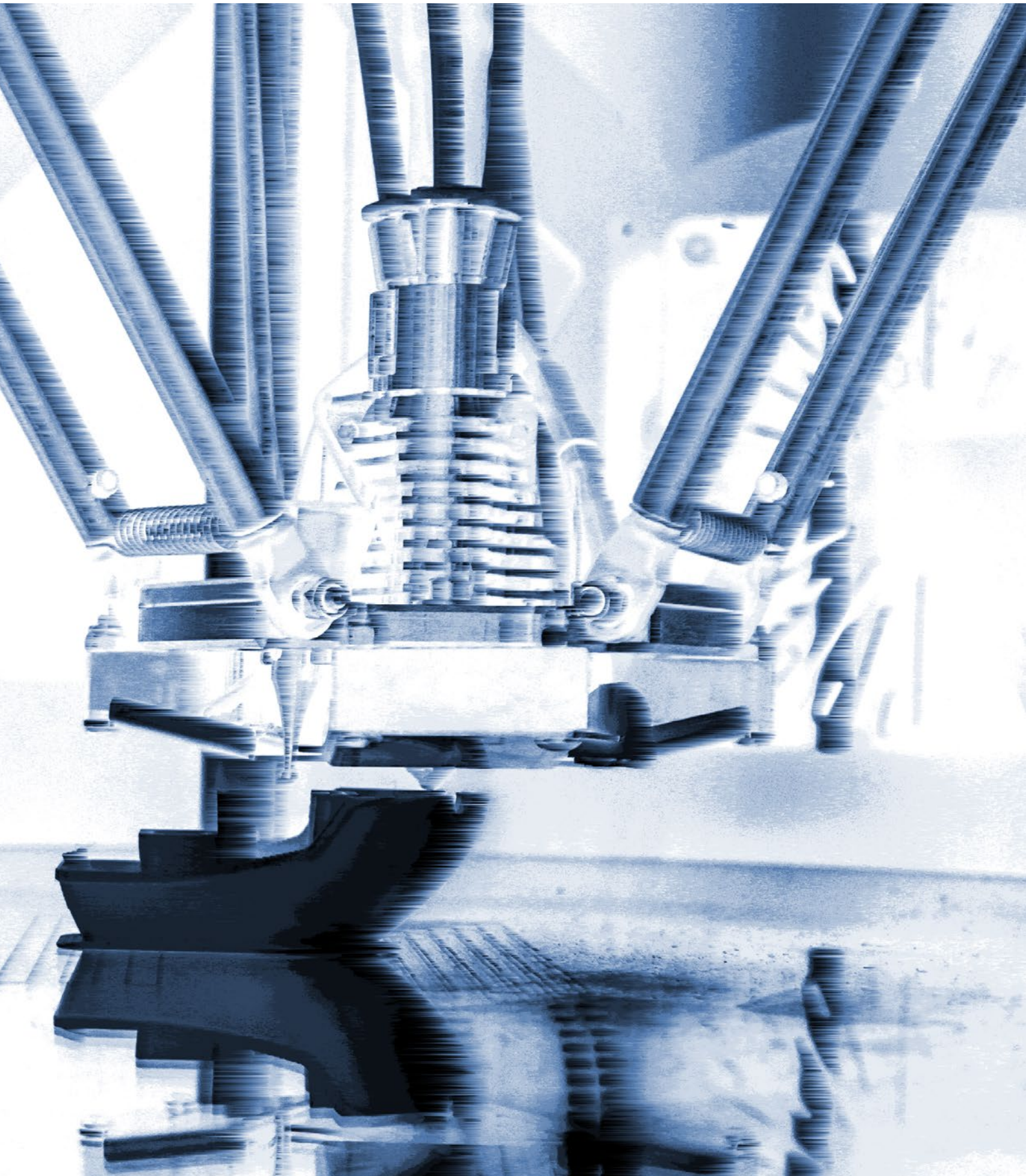
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Einleitung **5**

1 Marktanalyse **6**
2 Start-up-Umfeld **8**
3 Stand der Technik **10**
4 FuE-Entwicklung **13**
5 Projekte des Clusters 3D **15**
Add2Log – Dezentrale Produktion auf Basis von additiver Fertigung und agiler Logistik . 16
DigiKAM – Digitales Netzwerk für additive Fertigung 18
SAMPL – Sichere Plattform für Additive Fertigung 20
VariKa – Vernetztes Produkt- und Produktions-Engineering am Beispiel variantenreicher Fahrzeugkarosserien 22

Ansprechpartner bei Projektträger und Begleitforschung **24**



Einleitung

Die additive Fertigung, im weiteren Verlauf als 3D-Druck bezeichnet (gängig ist auch die Verwendung der Abkürzung AM für „additive manufacturing"), hat in den vergangenen Jahren eine dynamische Entwicklung durchlaufen und erfreut sich großer Popularität. Der Reifegrad der Technologie ist in unterschiedlichen Anwendungsbereichen weit fortgeschritten, sodass 3D-Druck in immer mehr Branchen eingesetzt wird. Der 3D-Druck schafft mehr Flexibilität in der Produktion, ermöglicht eine wirtschaftliche Herstellung kleiner Losgrößen ebenso wie eine schnellere Time-to-Market-Abwicklung in der Produktentwicklung und die Individualisierung von Produkten. Zudem können mittels 3D-Druck komplexe Strukturen mit funktionellem Mehrwert gefertigt werden, die mit subtraktiven oder formativen Verfahren nicht oder nur sehr kostenintensiv hergestellt werden können.

Innerhalb des Technologieprogramms PAiCE sind vier Projekte dem Themenfeld 3D-Druck zugeordnet, von denen sich drei Projekte (Add2Log, DigiKAM, SAMPL) der Entwicklung von Plattformlösungen zur Vernetzung der partizipierenden Akteure in 3D-Druck-Wertschöpfungsnetzwerken widmen. Die drei Projekte sehen jeweils unabhängige und durchgängige Plattformlösungen vor, um die Geschäftsprozesse zwischen Druckauftraggebern, Druckdienstleistern und weiteren Akteuren zu koordinieren. Die Projekte setzen dabei jedoch sehr individuelle Schwerpunkte, unter anderem hinsichtlich der Sicherheitslösung (SAMPL), den besonderen Anforderungen von kleinen und mittleren Unternehmen (DigiKAM) und der Einbindung eines agilen Logistiksystems (Add2Log). Im vierten Projekt werden Methoden entwickelt, die eine variantenreiche und zugleich wirtschaftliche Fertigung geringer Stückzahlen beim Bau von Fahrzeugkarosserien ermöglichen (VariKa).

Der vorliegende PAiCE-Monitor wird von einem interaktiven Online-Tool, dem Technologieradar, begleitet. Dieser bietet einen aktuellen Überblick über internationale Forschungsprojekte und Start-ups, aus dem Themenbereich 3D-Druck. Unter folgendem Link kann der Technologieradar eingesehen werden:
www.iit-berlin.de/technologieradar-3ddruck

1 Marktanalyse

Die schnelle Entwicklung im Bereich 3D-Druck führt zu einem stark wachsenden Markt von Gütern und Dienstleistungen und bringt eine Vielzahl neuer Anbieter (Maschinen sowie Dienstleistungen) und Anwender mit sich. Der globale Umsatz im Jahr 2018 betrug 8,9 Mrd. EUR, was einem Wachstum von 33,5 Prozent im Vergleich zum Vorjahr entspricht[1]. Nach einer leichten Abschwächung des globalen Umsatzwachstums in den Jahren 2015 bis 2017 (2015: 25,9 Prozent, 2016: 17,4 Prozent, 2017: 21,0 Prozent) wurde somit im letzten Jahr wieder das Niveau der hohen Wachstumsraten der Jahre 2012, 2013 und 2014 erreicht, die jeweils bei 32,7 Prozent, 33,4 Prozent und 32,7 Prozent lagen. Auf den mit Produkten generierten Umsatz – dazu gehören etwa Maschinen, System-Upgrades, Materialien, Software, Laser etc. – entfielen 2018 3,8 Mrd. EUR, von denen 2,4 Mrd. EUR allein auf den Verkauf von 3D-Druckern und deren System-Upgrades zurückgingen. Mit 5,2 Mrd. EUR setzten 2018 jedoch die 3D-Druck-Dienstleister durch Druckdienstleistungen, Beratungen, Seminare, Ausbildungsangebote und Auftragsforschung etc. deutlich mehr um. Bei der Betrachtung des Marktanteils (MA) einzelner Unternehmen stechen einige wenige Akteure besonders hervor, die den Markt dominieren: Unter den Herstellern von industriellen 3D-Druckern – womit hier Druckermodelle gemeint sind, die über 5.000 US-Dollar kosten – sind das Stratasys Ltd (MA 19 Prozent, 2018), Markforged (MA 14,7 Prozent, 2018) und die 3D Systems Corporation (MA 12,3 Prozent, 2018).

1 Wohlers, Terry: Wohlers Report 2019: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report, 2019.

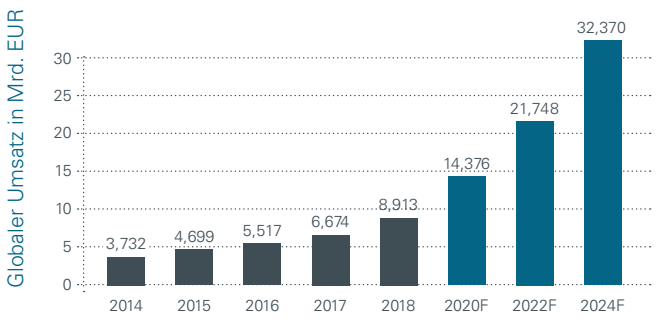


Abbildung 1: Globaler Umsatz durch den Verkauf von Produkten und Dienstleistungen im Bereich der additiven Fertigung (eigene Darstellung, Daten aus Wohlers 2019).

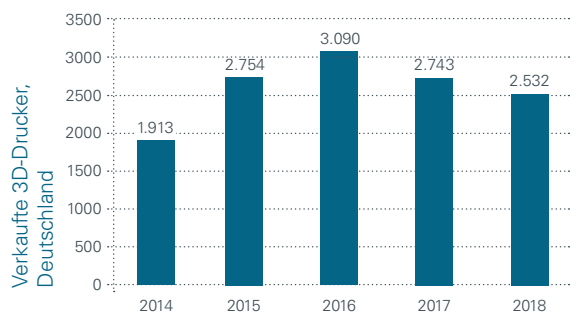


Abbildung 3: Verkaufszahlen für industrielle 3D-Drucker deutscher Unternehmen (eigene Darstellung, Daten aus Wohlers 2019).

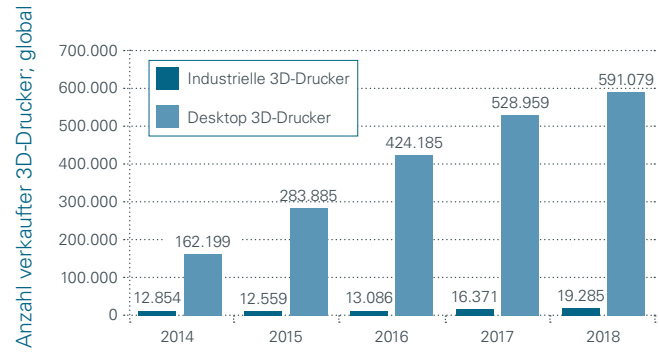


Abbildung 2: Globale Verkaufszahlen für industrielle und Desktop 3D-Drucker (eigene Darstellung, Daten aus Wohlers 2019).

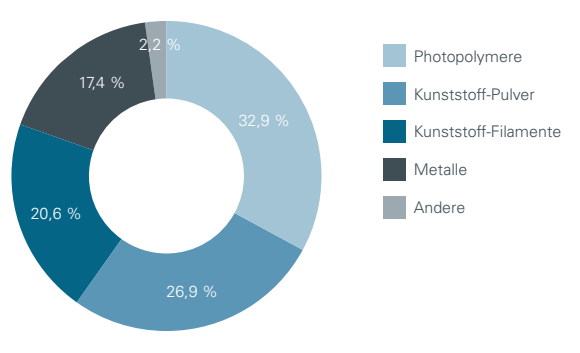


Abbildung 4: Globaler Umsatz von Materialien für den 3D-Druck (eigene Darstellung, Daten aus Wohlers 2019).

Die globalen jährlichen Umsätze, die mit industriellen 3D-Druckern, Desktop-3D-Druckern und Dienstleistungen rund um den 3D-Druck erzielt werden, sind insgesamt seit 2014 deutlich gestiegen (siehe Abbildung 1). Dabei zeigen sich derzeit bei den Verkaufszahlen von Druckern laut Marktstudien unterschiedliche Trends. Bei preislich günstigeren Desktop-3D-Druckern, die nach hier zugrunde gelegtem Verständnis einen Stückpreis von unter 5.000 US-Dollar aufweisen, hat sich zwischen 2014 und 2016 ein rasant steigender Absatz gezeigt, der sich allerdings in den letzten beiden Jahren sichtlich abschwächte (siehe Abbildung 2). Zugleich wachsen die Verkaufszahlen von industriellen 3D-Druckern global gesehen weiterhin merklich. Anhand des deutlich höheren Durchschnittspreises von industriellen 3D-Druckern von 88.824 EUR im Vergleich zu 1.147 EUR, die durchschnittlich für einen Desktop 3D-Drucker aufgerufen wurden, lässt sich ablesen, dass global der wesentlich höhere Umsatzanteil mit industriellen Drucker-Systemen erwirtschaftet wurde.[2]

Bei den deutschen Druckerherstellern ist nach 2016 ein rückläufiger Trend beim Absatz industrieller 3D-Drucker[3] zu beobachten, nachdem die Verkaufszahlen im Zeitraum von 2014 bis 2016 – auch verglichen mit dem globalen Durchschnitt – ein überproportional hohes Wachstum verzeichneten (siehe Abbildung 3).

An der Verteilung der globalen Umsätze von Materialien für den 3D-Druck (siehe Abbildung 4) lässt sich ablesen, welches die am weitesten verbreiteten 3D-Druckverfahren sind:

- Bei der Photopolymerisation werden flüssige lichtaushärtende Kunststoffe (Photopolymere) in der Regel durch UV-Strahlung punkt- oder schichtweise auf einer Bauplattform vernetzt, sodass sich das Polymer verfestigt. Als UV-Quelle dienen meist Laser. Ein weitverbreitetes Verfahren, das dieses Prinzip nutzt, ist beispielsweise die Stereolithografie.
- Bei den pulverbasierten Verfahren wird eine dünne Schicht Pulver, in der Regel Metall- oder Kunststoffpulver, auf eine Arbeitsfläche aufgetragen und mittels Laser in eine definierte Kontur geschmolzen, die sich nach dem Erstarren verfestigt. Daraufhin wird eine neue Schicht Pulver aufgetragen und der Prozess wiederholt. Weitverbreitete Beispiele für diese Verfahren sind das Selektive Lasersintern und das Selektive Laserschmelzen.
- Bei den extrusionsbasierten Verfahren werden thermoplastische Kunststoffe bzw. Kunststoff-Filamente durch eine beheizte Düse verformbar gemacht und geometrisch definiert abgelegt. Ein weitverbreitetes Beispiel für ein solches Verfahren ist die Schmelzschichtung, die vor allem unter dem Begriff „Fused Deposition Modeling“ bekannt ist.

Die höchsten Umsätze wurden im Jahr 2018 im globalen Vergleich durch den Verkauf von Photopolymeren (32,9 Prozent) erzielt, gefolgt von Kunststoff-Pulver (26,9 Prozent), Kunststoff-Filamenten (20,6 Prozent) und Metall (17,4 Prozent) (siehe Abbildung 4). Weiterführende Informationen bezüglich der unterschiedlichen 3D-Druckverfahren kann der Fachliteratur entnommen werden[4].

2 Wohlers, Terry: Wohlers Report 2019: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, Annual Worldwide Progress Report, 2019.
3 ebd.
4 Gebhardt, Andreas: Generative Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping, Tooling, Produktion, 2013.

2 Start-up-Umfeld

Die 3D-Druck-Branche hat zwar das Potenzial, industrielle Produktionsverfahren und -wege von Grund auf zu revolutionieren, befindet sich derzeit aber noch in der Entwicklung. Offene technologische Fragestellungen und die Existenz unerschlossener Nischenmärkte bilden einen fruchtbaren Nährboden für die Entstehung von Start-ups, die von industriellen Investoren und Finanzinvestoren in der Regel aufmerksam beobachtet und gegebenenfalls durch entsprechende Investitionen unterstützt werden.

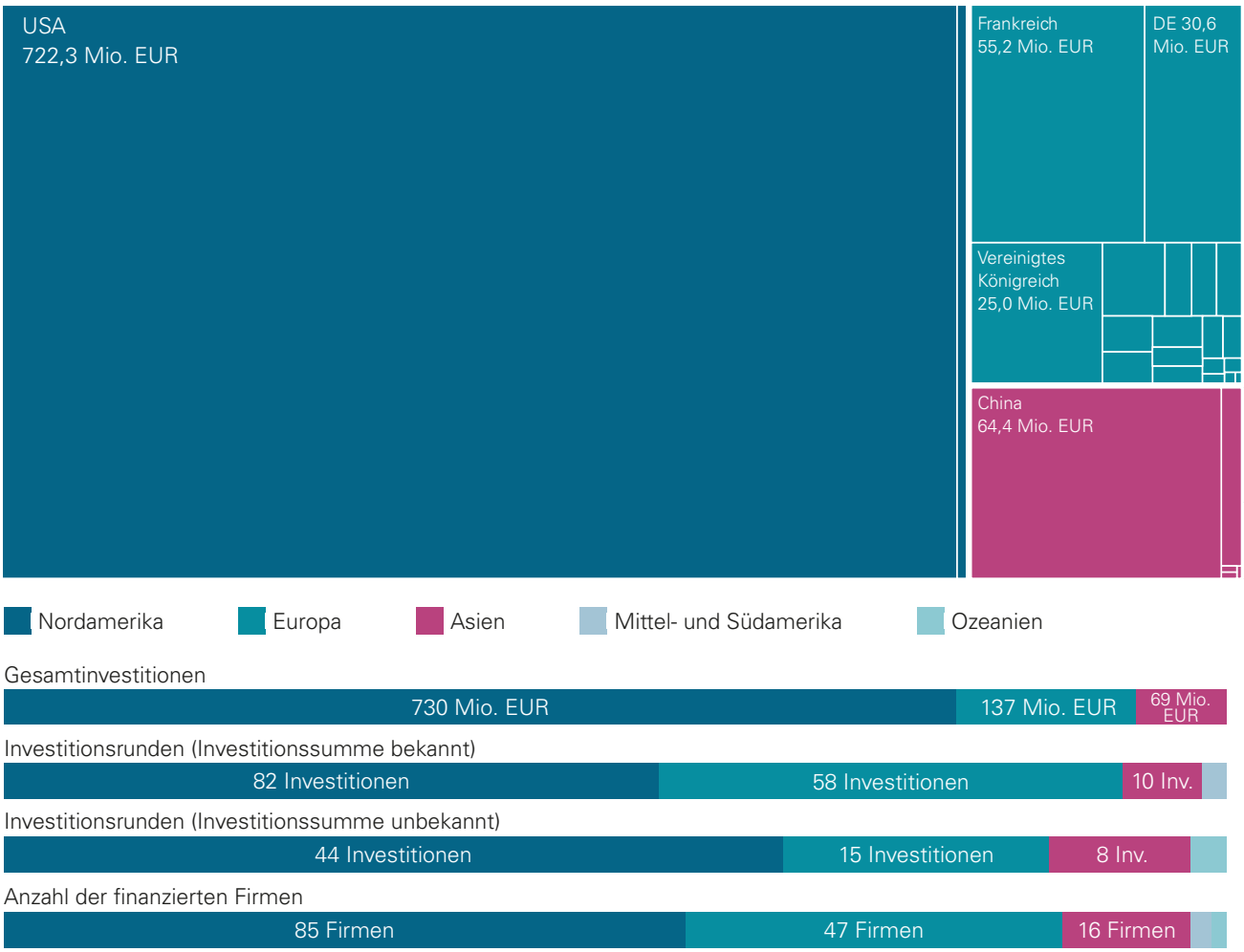


Abbildung 5: Investitionssummen in Start-ups für 3D-Druck im Jahr 2018 (eigene Darstellung, Daten aus www.crunchbase.com).

Zur Analyse der weltweiten Investitionen in Start-ups und diesbezüglicher regionaler Unterschiede wurden Investitionen und Risikokapitalbeteiligungen aus vergangenen Geschäftsjahren zusammengestellt.[5] Eine Visualisierung des Ergebnisses für das Jahr 2017 und 2018 findet sich in Abbildung 5. Bei etwa 70 Prozent der Investitionen und Risikokapitalbeteiligungen aus den Jahren 2017 und 2018 (in Abbildung 5 als Investment-Runden bezeichnet) sind die zugehörigen Investitionssummen bekannt. Deutlich ist dabei der große Anteil US-amerikanischer Start-ups, die in den Jahren 2017 und 2018 77,9 Prozent der global getätigten Investitionen auf sich vereinten.

5 Für diese Analyse wurde die Datenbank www.crunchbase.com unter Berücksichtigung aller Einträge verwendet, die der Kategorie „additive manufacturing" oder „3d printing" zugeordnet sind. Dabei wird eine Investition als eine Investition in ein Start-up gewertet, wenn die Investition spätestens im fünften Kalenderjahr nach dem Gründungsjahr des Unternehmens getätigt wurde.

Besonders umfangreich von Investitionen profitierten auch 2018 US-amerikanische Start-ups, die auf dem Wege der strategischen Partnerschaften das Portfolio von industriellen Akteuren erweiterten. Ein Konsortium um Ford investierte 2018 in beträchtlichem Umfang (77,4 Mio. EUR) in das 2015 gegründete Start-up Desktop Metal Inc., das 3D-Drucker für die Fertigung von Metallbauteilen herstellt und dafür zuvor bereits 192 Mio. EUR an Investitionen ähnlichen Typs erhalten hat. Auf der anderen Seite investierten Risikokapitalgesellschaften 22,8 Mio. EUR in die 2013 gegründete US-amerikanische On-Demand-Produktionsplattform Xometry Inc. Das 2015 gegründete chinesische Start-up Ultracraft, das sich dem Hochpräzisions-3D-Druck widmet, erhielt 2018 Investitionen (42,8 Mio. EUR) von einer US-amerikanisch-chinesischen sowie einer japanischen Kapitalanlagegesellschaft. Bei europäischen Unternehmen stammten höhere Investitionssummen (über 10 Mio. EUR) 2018 laut Crunchbase-Analyse mehrheitlich von Investoren aus dem Finanzsektor. So wurde das Medizintechnikunternehmen BIOMODEX (Frankreich) durch europäische Kapitalanlagegesellschaften (13,7 Mio. EUR) unterstützt sowie das Start-up OxSyBio (Großbritannien), das langfristig den 3D-Druck von künstlichem Körpergewebe anstrebt, durch eine britische Kapitalanlagegesellschaft (12,7 Mio. EUR).

Wie Abbildung 6 zeigt, lag der Anteil der Investitionen in nordamerikanische Start-ups im internationalen Vergleich während der vergangenen fünf Jahre durchgängig auf einem sehr hohen Niveau. Seit die globale jährliche Investition in 3D-Druck-Start-ups zum ersten Mal in 2014 die 100-Millionen-Euro-Marke übertraf, flossen in jedem vollständigen Geschäftsjahr jährlich immer mindestens zwei Drittel der globalen Gesamtinvestitionen in nordamerikanische Unternehmen, die zum allergrößten Anteil aus den USA stammen. Der Anteil von Investitionen in europäische Start-ups lag im gleichen Zeitraum dagegen zwischen 9 und 25 Prozent und der in asiatische Start-ups bei 3 bis zuletzt 17 Prozent, während in entsprechende Start-ups anderer Weltregionen nur marginal investiert wurde. Ohne klaren Trend zeigten sich 2014 bis 2016 gemäß den vorliegenden Daten die Investitionen in deutsche Start-ups (2014: 2,0 Mio. EUR, 2015: 9,3 Mio. EUR, 2016: 1,1 Mio. EUR, 2017: 27,0 Mio. EUR, 2018: 6,6 Mio. EUR). Erwähnenswert sind jedoch die 2017 getätigten Investitionen in Höhe von 13,7 Mio. EUR durch mehrere europäische Kapitalanlagegesellschaften und der dem Maschinenbau entstammenden Körber AG in die 2014 gegründete Firma BigRep, die sich auf großdimensionierte Drucker spezialisiert hat, und die Investitionen von 10,9 Mio. EUR in die junge Plattform 3YOURMIND. Die Investitionen in das 2014 gegründete Unternehmen 3YOURMIND wurden von zwei deutschen Risikokapitalgesellschaften, der Firma Trumpf und dem Lead-Investor AM Ventures, Schwesterunternehmen der EOS GmbH, initiiert.

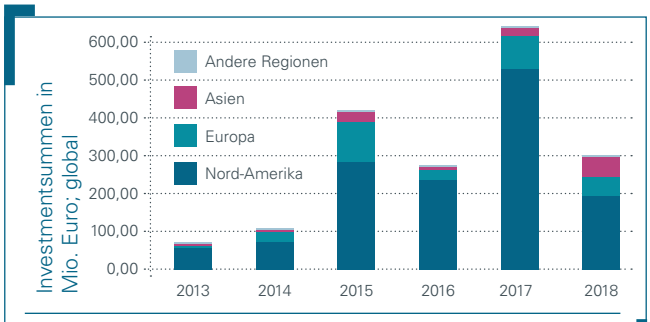


Abbildung 6: Globale Investitionsaufkommen 2013-2018, (eigene Darstellung, Daten aus www.crunchbase.com).

Erwähnenswert ist, dass 2017 und 2018 der Großteil der Investitionen in asiatische Start-ups nach China fließt (64,4 Mio. EUR in 2017 und 2018, siehe Abbildung 5) und zunehmend auch nicht-chinesische Kapitalanlagegesellschaften in diese Unternehmen investieren, was vor 2016 noch nicht in dem Ausmaß beobachtet werden konnte. Vor 2016 speiste sich die Förderung chinesischer Start-ups vor allem aus staatlichen Quellen. Zu nennen ist hier besonders der nationale Plan für die Entwicklung und Förderung der 3D-Druckindustrie, für den in den Jahren 2015 und 2016 ein Budget von 211,2 Mio. EUR vom chinesischen Staat zur Verfügung gestellt wurde.[6] Ziel dieser staatlichen Investition war es, bis 2016 zwei bis drei international wettbewerbsfähige chinesische 3D-Druck-Firmen zu etablieren.[7]

6 Richter, Stephan/Wischmann, Steffen: Additive Fertigungsmethoden, 2016.
7 Müller, Andreas/Karevska, Stefan: How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain?, 2016.

3 Stand der Technik

3D-Drucktechnologien werden heute in unterschiedlichsten Branchen eingesetzt, etwa in der Luftfahrtindustrie, der Konsumgüterindustrie sowie der chemischen Industrie (Abbildung 7). Aktuell fertigen bereits ca. 16 Prozent der deutschen Unternehmen Endprodukte, hierzu zählen auch Ersatzteile, mittels 3D-Druck[8]. Zudem werden (funktionelle) Prototypen, Werkzeuge (bspw. für den Spritzguss) sowie Teile oder Schablonen für die Montage 3D-gedruckt.

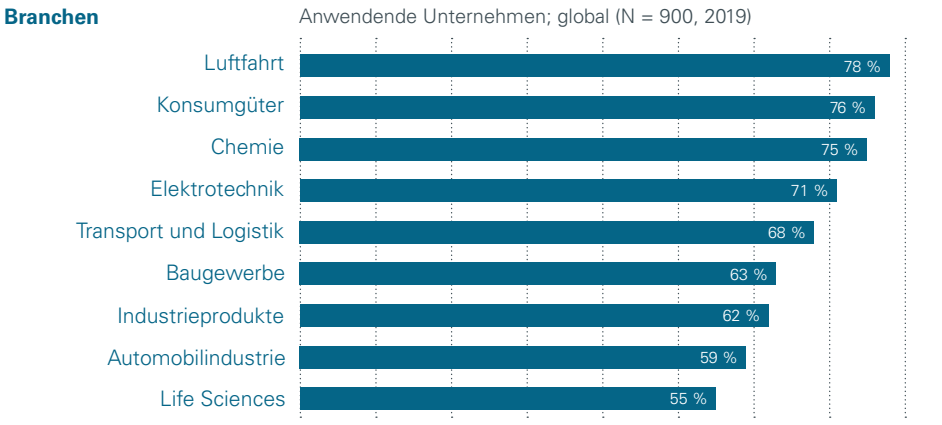


Abbildung 7: Branchen, in denen 3D-Druck bereits eingesetzt bzw. genutzt wird; global (eigene Darstellung, Daten aus Karevska 2019).

3D-Druckverfahren kommen in der Industrie vor allem zum Einsatz, weil sie das Potenzial haben, die konventionelle Wertschöpfung im Kontext der Entwicklung und Konstruktion, der Fertigung, der Distribution sowie der After Sales Services zu ergänzen bzw. zu erweitern. Im Folgenden werden Anwendungsschwerpunkte beschrieben, die den aktuellen Stand der Technik spiegeln und mögliche Potenziale der Wertschöpfung beispielhaft skizzieren.[9]

Schwerpunkt Digitale Produktion

Im additiven Wertschöpfungsprozess bilden die Gestaltung, Optimierung und Anpassung datenbasierter Modelle einen wesentlichen Teilbereich, der ausschließlich digital umgesetzt wird. Auch die Integration von 3D-Druckern in industrielle Produktionssysteme erfolgt primär über digitale Schnittstellen. Die in diesem Zusammenhang entstehenden Geschäftsfelder werden bereits von Dienstleistern, aber auch vereinzelt von produzierenden Unternehmen, die 3D-Druck einsetzen, erfolgreich bespielt. Diese bieten ihr breites Wissen über Prozess- und Druckparameter bzw. konstruktive Optimierungsmöglichkeiten von Objekten als Beratungsleistung an. Hierbei ist zu beobachten, dass die Konstruktion zunehmend zum Kerngeschäft wird, während die Produktion als Dienstleistung erfolgt. Bei der Vernetzung der Akteure leisten Online-Plattformen und -Communities einen entscheidenden Beitrag. Gleichzeitig stellt der Aufbau einer „Chain of Trust" zwischen den partizipierenden Akteuren mittels Blockchain- bzw. Distributed-Ledger-Technologien eine aussichtsreiche Möglichkeit dar, um die Herkunft von 3D-gedruckten Bauteilen besser nachvollziehen zu können und die illegale Kopie von urheberrechtlich geschützten Konstruktionsdaten zu unterbinden.

8 Karevska, Stefan: EY's Global 3D Printing Report, 2019.
9 Richter, Stephan./Wischmann, Steffen (2018): Additive Fertigung. Erweiterung der Wertschöpfung. In: Unternehmermagazin, Jahrgang 66, Nr. 3/4.

Schwerpunkt Losgröße 1

Die additive Herstellung kleiner Losgrößen – Stichwort „Losgröße 1" – ist für viele Unternehmen interessant, weil die Technologie eine wirtschaftliche Herstellung von Klein- und Kleinstserien erstmalig zulässt. Dies gilt umso mehr für komplexe Bauteile mit funktionellem Mehrwert. Aktuell wird das Thema 3D-gedruckte kleine Losgrößen vor allem von Maschinenherstellern angegangen. Es werden bspw. funktionsfähige Bauteile mit anspruchsvoller Geometrie gedruckt, aber auch Bauteile mit besonderen Maßen, die nicht von Zulieferern bezogen werden können. Die Nutzung von 3D-Druck für Kleinserien stellt in der Regel einen direkten Mehrwert für die Unternehmen dar, weil die additive Fertigung der Bauteile in Kleinserie günstiger ist und die Bauteile flexibel und schnell gestaltet werden können.

Schwerpunkt Logistik

Die additive Fertigung erleichtert es, Objekte nicht nur nach Bedarfslage (production on demand), sondern auch in der Nähe des Einsatzortes (production on site) herzustellen. Die Technologie kann somit dazu beitragen, die Produktion flexibler über Standorte hinweg zu gestalten. Diese Flexibilisierung betrifft insbesondere auch Logistikdienstleister, die klassischerweise Materialien zu jeweils festgelegten Produktionsstandorten liefern und die dort produzierten Güter global verteilen. Führende Logistikunternehmen haben dies früh erkannt und ihre Geschäfts- und Wertschöpfungsmodelle erweitert, um an einer additiven Produktion der Zukunft teilhaben zu können. Schon heute bieten Logistikkonzerne vereinzelt ihren Kunden die Möglichkeit, 3D-Druckaufträge über eigene Onlineportale zu erteilen. Dabei verfügen die Logistikkonzerne i. d. R. nicht über eigene 3D-Drucker sondern bieten ihren Kunden eine global vernetzte Fertigungs-Cloud als Service, welche etablierte 3D-Druck-Unternehmen und -Dienstleister integriert. Dies könnte sich zukünftig aber ändern. Aktuell werden Möglichkeiten wie lokal verteilte 3D-Druck-Logistikzentren und die additive Fertigung von Produkten auf dem Weg zum Kunden (print while delivering) diskutiert, unabhängig davon, ob dies auf dem Land-, Wasser- oder Luftweg geschehen soll.

Schwerpunkt Ersatzteile

Die Ersatzteilversorgung ist für (zuliefernde) Unternehmen eine bis dato nicht zu unterschätzende Herausforderung. Zulieferer müssen Ersatzteile oftmals noch viele Jahre nach Serienauslauftermin auf Anforderung liefern können. Ihre Produktion, Lagerhaltung und Distribution verlangt einen hohen organisatorischen Aufwand und verursacht unverhältnismäßig hohe Kosten. Die serielle Herstellung additiv gefertigter Ersatzteile hat demgegenüber Vorteile. Die Lagerung der Ersatzteile kann quasi in den digitalen Raum verlegt werden. Wird ein Ersatzteil benötigt, wird es ganz nach Bedarfslage zeit- und mengengerecht gedruckt. Zudem können ökonomische wie auch ökologische Kosten für die Distribution der Ersatzteile verringert werden, wenn auf globaler Ebene mit regionalen Druckdienstleistern zusammengearbeitet wird. Die mobile Erfassung von Bauteilen beim Kunden und deren 3D-Rekonstruktion ist ein weiterer wichtiger Faktor im Kontext additiver Ersatzteilfertigung. Ist ein defektes Bauteil erst einmal mit dem Scanner, Smartphone oder Tablet erfasst, kann dieses in einer Datenbank identifiziert und/oder druckbare Modelldaten für die Ersatzteilfertigung generiert werden.

Schwerpunkt Rapid Repairing

Das Rapid Repairing von Bauteilen, das heißt die direkte Reparatur mittels 3D-Drucktechnologien wie dem generativen Auftragsschweißen, spielt vor allem für Unternehmen, die im Bereich After-Sales-Services einen erheblichen Teil ihres Unternehmensgewinns erwirtschaften, eine immer wichtigere Rolle. Die Wartung und Reparatur von Gasturbinen liefert ein hervorragendes Beispiel, wie 3D-Drucktechnologien in diesem Anwendungsbereich wirtschaftlich eingesetzt werden können. In den vergangenen Jahren konnte eine 3D-Druckfabrik realisiert werden, in der industrielle Gasturbinen für die Stromproduktion gewartet werden. Nach fest vorgegebenen Zeitintervallen werden die verschlissenen Brennerspitzen abgetragen und direkt auf die Gasturbine neu aufgedruckt. Durch den Einsatz von 3D-Drucktechnologien konnte so die Reparaturdauer von Monaten auf Wochen verkürzt und die Wartungskosten merkbar gesenkt werden.

Obwohl 3D-Druck bereits in vielen Industriebranchen eingesetzt wird, kann der aktuelle Stand der Technik noch nicht mit klassischen Produktionsverfahren mithalten. Im Rahmen der Stellungnahme „Additive Fertigung" der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech), der Nationalen Akademie der Wissenschaften (Leopoldina) und der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (Akademienunion) wurde in Zusammenarbeit mit 84 Akteuren aus Wissenschaft und Industrie ein Erfolgsfaktorenportfolio für das Technologiefeld Additive Fertigung erstellt.[10] Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass die Verfügbarkeit von Maschinen und Materialien, die reproduzierbare Druckergebnisse ermöglichen, weiterhin eine Herausforderung darstellt. Insbesondere „verdruckbare" (zertifizierte) Materialien seien bisher nur eingeschränkt erhältlich und gedruckte Bauteile, die auf Basis gleicher Druckparameter hergestellt wurden, weisen zum Teil unterschiedliche Bauteileigenschaften oder Geometrien auf. Zu den „kritischen Erfolgsfaktoren" für eine zeitnahe Implementierung des 3D-Drucks in Unternehmen gehöre, so das Fazit, dass die Maschinenproduktivität erhöht und die Integration in bestehende Fertigungsprozesse ermöglicht werden müsse. Parallel dazu seien Methoden zur Qualitätssicherung zu entwickeln sowie Normen und Standards auszuarbeiten. Des Weiteren sollten die Themen Arbeitsschutz sowie Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz bei Weiterentwicklungen der 3D-Drucktechnologie von morgen im Auge behalten werden. Die im Technologieprogramm PAiCE geförderten Projekte stellen sich auch diesen Herausforderungen. So wird bspw. in den Projekten Add2Log und VariKa explizit untersucht, wie 3D-Druckergebnisse reproduzierbar mit unterschiedlichen Materialien bzw. 3D-Druckern realisierbar sind.

10 acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.), Leopoldina (Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.), Akademienunion (Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.): Additive Fertigung, 2017.

4 FuE-Entwicklungen

Um den aktuellen wissenschaftlichen Diskurs abzubilden, wurden Publikationsdaten aus der Datenbank Scopus analysiert, die mit rund 75 Mio. Fachartikeln und 9 Mio. Konferenzbeiträgen aus den Bereichen Natur-, Technik-, Geistes- und Sozialwissenschaften sowie Medizin eine große Vielfalt an englischsprachigen wissenschaftlichen Publikationen versammelt sowie täglich aktualisiert und erweitert wird. Über die einsehbaren Metadaten lassen sich Publikationen sowohl Regionen als auch Themenkategorien zuordnen.[11]

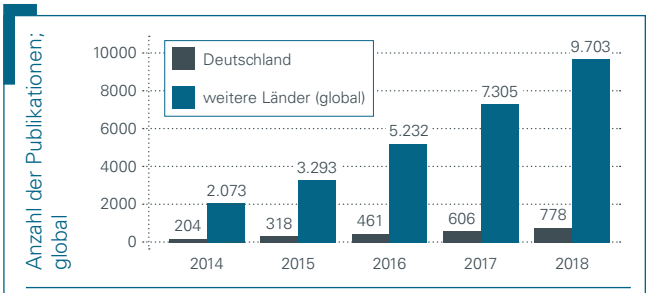


Abbildung 8: Anzahl wissenschaftlicher Publikationen (global) die zwischen 2014 und 2018 bei Scopus veröffentlicht wurden (Quelle: Scopus – Suchwörter „3d print*" oder „additive manufac*", Datenbankabfrage am 17.10.2019).

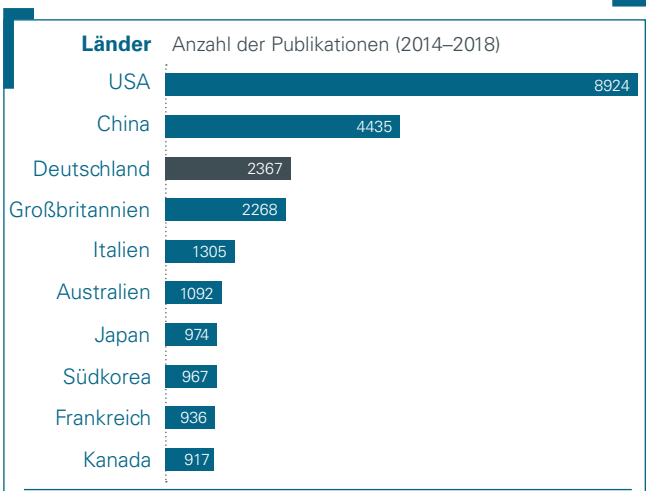


Abbildung 9: Publikationsstärkste Länder zwischen 2014 und 2018 (Quelle: Scopus, Suchwörter „3d print*" oder „additive manufac*", Datenbankabfrage am 17.10.2019).

Zwischen 2014 und 2018 ist der wissenschaftliche Output an Fachartikeln zum Themenbereich additive Fertigung länderübergreifend jährlich gestiegen (Abbildung 8). Dies gilt auch für Deutschland und deutet auf einen intensiven Ausbau der Forschungsaktivitäten hin. In Deutschland ansässige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gehörten zu den publikationsstärksten – hinter denen aus den USA und China (Abbildung 9). In Abbildung 10 sind die relevantesten Fachgebiete zusammengestellt, in denen in Deutschland zwischen 2014 und 2018 zu Themen im Bereich der additiven Fertigung publiziert wurde. Dabei fällt auf, dass der Publikationsschwerpunkt in den Ingenieur- und Materialwissenschaften liegt, aber auch in den Bereichen der Physik und Informatik stark publiziert wird. Weitere Publikationsschwerpunkte liegen in den Fachgebieten Chemie, Mathematik, (Bio-)Medizin (inklusive der Biomaterialien) und Businessmanagement. Fachartikel die zwischen 2014 und 2018 in Deutschland publiziert wurden, konnten insbesondere mit Fördermitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (240 Fachartikel), des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (74 Fachartikel), des European Research Council (46 Fachartikel) bzw. der European Commission (34 Fachartikel), des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (30 Fachartikel) und der Allianz Industrie Forschung (22 Fachartikel) realisiert werden.

Die Förderung von additiven Fertigungsverfahren in Deutschland findet insbesondere im Kontext spezifischer Anwendungsbereiche und im Rahmen der institutionellen Förderung sowie der Projektförderung des Bundes statt. Die Ziele der Fördermaßnahmen sind insbesondere:

- Entwicklung der additiven Fertigung zu einer Schlüsseltechnologie
- Messbare Steigerung der Exportnachfrage und Positionierung Deutschlands als Leitanbieter
- Entwicklung spezifischer Materialien für den 3D-Druck
- Verzahnung von digitaler Produktion im Kontext der Industrie 4.0 mit dem 3D-Druck
- Entwicklung innovativer Methoden und Werkzeuge zur Produktentwicklung und -fertigung.

11 Für die Analyse wurden Publikationen von 2014 bis 2018 berücksichtigt, die den Suchwörtern „3d print*" oder „additive manufac*" zugeordnet werden konnten (Datenbankabfrage 17.10.2019).

Neben den Fördermaßnahmen, die spezifisch auf die Entwicklung neuer 3D-Druck-Technologien und -Materialien ausgelegt sind, werden Projekte mit einem inhaltlichen Bezug zum 3D-Druck auch im Rahmen weiterer Technologieprogramme gefördert, so etwa in PAiCE. Übergreifendes Ziel aller hier geförderten 3D-Druckprojekte ist die optimale Einbettung von 3D-Drucktechnologien in digitale Wertschöpfungsketten der Industrie 4.0. Zu den mit der Digitalisierung im Sinne der Industrie 4.0 von Unternehmen erwarteten Vorteilen zählen etwa bessere Möglichkeiten für die Planung und Steuerung in der Produktion und Logistik, höhere Kundenzufriedenheit durch die Einbindung von Nutzerdaten, größere Flexibilität in der Produktion, schnellere Time-to-Market-Abwicklung in der Produktentwicklung, die Verbesserung der Qualität und die Möglichkeit der Individualisierung von Produkten.

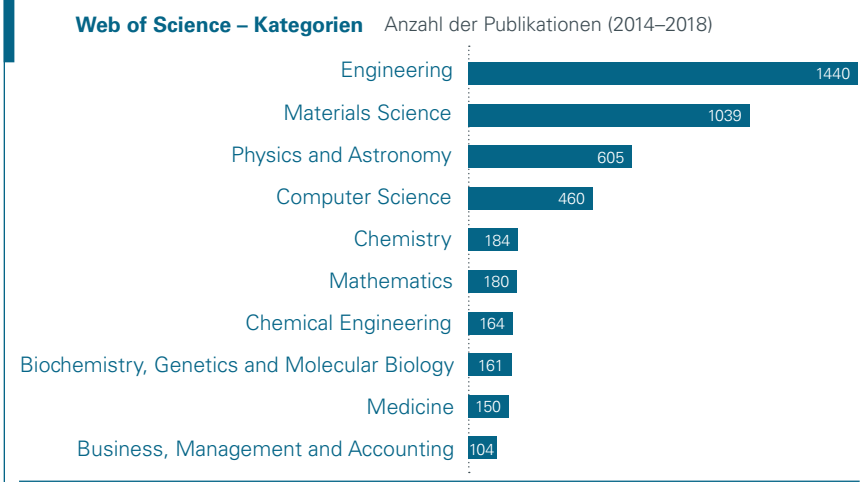


Abbildung 10: Scopus,Fachgebiete, in denen zwischen 2014 bis 2018 am häufigsten publiziert wurde (Quelle: Scopus, Suchwörter „3d print*“ oder „additive manufac*“, Datenbankabfrage am 17.10.2019).

5 Projekte des Clusters 3D

Innerhalb des Technologieprogramms PAiCE sind vier Projekte dem Themenfeld 3D-Druck zugeordnet. Die drei Projekte Add2Log, DigiKAM, SAMPL fokussieren sich auf die Entwicklung von Plattformlösungen zur Vernetzung der Akteure in 3D-Druck-Wertschöpfungsnetzwerken. Die Projekte setzen dabei jedoch individuelle Schwerpunkte, unter anderem hinsichtlich der Sicherheitslösung (SAMPL), den besonderen Anforderungen von kleinen und mittleren Unternehmen (DigiKAM) und der Einbindung eines agilen Logistiksystems (Add2Log). Im vierten Projekt werden Methoden entwickelt, die eine variantenreiche und zugleich wirtschaftliche Fertigung geringer Stückzahlen beim Bau von Fahrzeugkarosserien ermöglichen (VariKa).

Der Fortschritt der Förderprojekte, Add2Log, DigiKAM, SAMPL und Varika seit Beginn des Technologieprogramms PAiCE wird auf den folgenden Seiten dargestellt.

Add2Log

Dezentrale Produktion auf Basis von additiver Fertigung und agiler Logistik

Kurzsteckbrief

Das Ziel des Projekts Add2Log ist die Entwicklung einer softwarebasierten Plattform, auf der sich Unternehmen vernetzen, um die Vorteile einer dezentralen additiven Fertigung von Neu- und Ersatzteilen und eines agilen Logistiksystems zu verbinden. Die Plattform Add2Log übernimmt die zentralen Koordinationsfunktionen für ein neu entstehendes Wertschöpfungsnetzwerk zwischen Produzenten – additive Fertiger, Nachbearbeiter, Qualitätssicherer – Logistikern und Kunden.

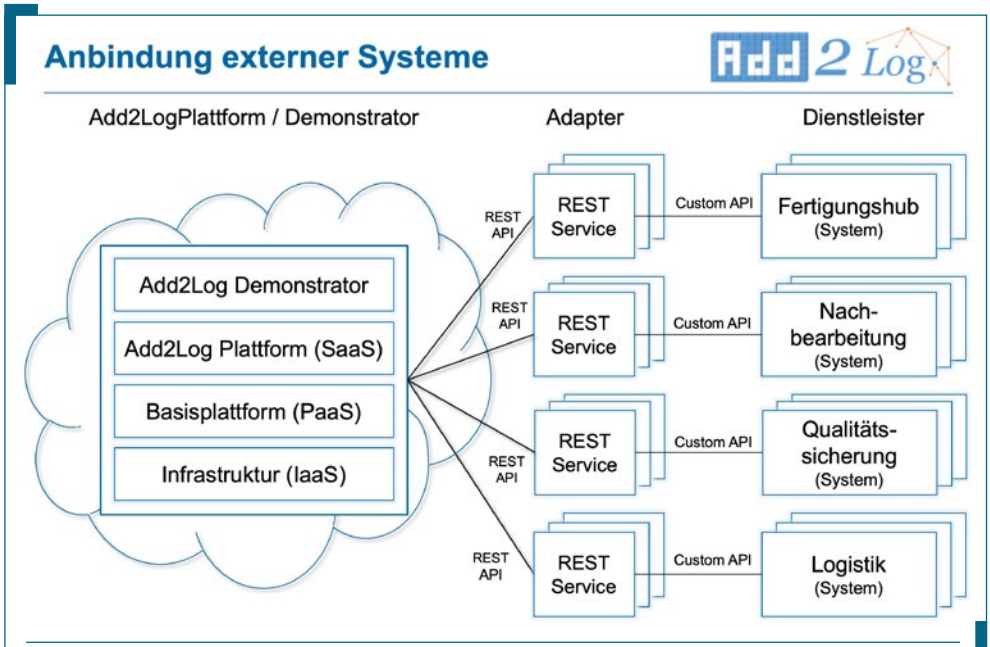
www.projekt-add2log.de

Aktuelles aus dem Projekt

Im bisherigen Projektverlauf seit dem Kickoff im Mai 2017 wurden zunächst die vorherrschenden Ökosysteme der additiven Fertigung und Logistik analysiert, die Benutzerszenarien – insbesondere für die Hauptanwendungsfälle Ersatz- und Neuteile – ausgearbeitet, die Geschäftsmodelle und Logistikkonzepte entwickelt sowie die Software-Plattform konzipiert. Aktuell liegt der Focus auf der Realisierung der Add2Log Software-Plattform sowie dem Aufbau und der Validierung des Demonstrators. Weitere Schwerpunkte sind die Entwicklung einer stabilen Selective Laser Melting (SLM)-Prozesskette sowie die Entwicklung und Verfeinerung tragfähiger Geschäftsmodelle und -prozesse.

Ideenwettbewerb zu Geschäftsmodellen: Gemeinsam mit den Konsortialpartnern FIR e. V. und Materialise GmbH erarbeiteten 42 Studierende von der RWTH Aachen Ideen und Konzepte für neue Geschäftsmodelle. Diese sollten sich am Business Model Canvas orientieren und alle Gestaltungsfelder inklusive Business Case beinhalten. Die besten drei Ideen wurden im Rahmen einer Preisverleihung durch eine Expertenjury gewürdigt. Den ersten Platz belegte das Team mit der Idee, ein dezentrales Produktionsnetzwerk durch die Vernetzung von additiven Fertigungsgeräten aufzubauen. Dabei sollte nicht nur eine Ver-teilung der Fertigungsaufträge über die Add2Log Plattform stattfinden. Das Konzept sieht vielmehr vor, dass die Geräte ihre Kapazitäten untereinander austauschen und an die Platt-form zurückmelden. So können Fertigungsaufträge auch an verteilten Standorten bearbeitet werden. Auf dem zweiten Platz landete das Konzept eines intelligenten Auftragstools für additive Fertigungsangebote, das den Prozess der Angebotserstellung auf der Plattform deutlich beschleunigt. So bindet derzeit die Angebotserstellung einen Großteil der Kapazität von Materialise. Der dritte Platz knüpft ebenfalls an dieser Problemstellung an, fokussiert aber maßgeblich einen automatisierten Scan- und Angebotsprozess für additiv gefertigte Bauteile.

Plattform und Demonstrator: Die Add2Log Plattform wurde als Cloud-Plattform konzipiert. Sie setzt auf einer Infrastruktur (IaaS – Infrastructure as a Service) sowie einer Basisplattform (PaaS – Platform as a Ser-vice), die die grundlegenden Dienste für den Betrieb im Web liefert, auf und wird als Software as a Service (SaaS) realisiert. Der Add2Log Demonstrator wird als eine Instanz der Plattform konfiguriert. Die Dienstanbieter – Fertiger, Nachbearbeiter, Qualitätssicherer, Logistiker – bin-den sich an die Plattform über Webdienste an, die zur Plattform standardisierte Schnittstellen (REST-APIs) haben und als Front-End für die IT-Systeme der Anbieter fungieren. Der Platt-form-Demonstrator realisiert die Referenzprozesse für Anfragen und Bestellungen der Kun-den und kommuniziert über die Webdienste mit den Anbietern, um Anfragen zu stellen, Ange-bote einzuholen, optimal zu kombinieren und nach Auswahl des Kunden in Auftrag zu geben.



Anbindung von Dienstleistern an die Add2Log Plattform über Webdienste

Die Add2Log Plattform wurde prototypisch in zwei Ausführungen realisiert, um daraufhin die Entscheidung für die beste Variante nach projektinternen Reviews und Tests zu treffen. Die erste Variante wurde mit einer Business-Process-Management basierten Plattform realisiert, die die Erstellung von Geschäftsapplikationen mittels Modellierung und Konfiguration von Geschäftsprozessen ohne Programmierung ermöglicht. Die zweite Variante der Plattform wurde mit einem Webapplikationsframework realisiert, welches Programmierung erfordert und dafür entsprechende Programmierwerkzeuge zur Verfügung stellt. Die erste Variante stellt vorgefertigte Muster zur Verfügung, die nur bis zu einem gewissen Grad nach eigenen Bedürfnissen angepasst und gestaltet werden können, während die zweite Variante alle Gestaltungs-freiheiten durch die Programmierung erlaubt. Nach ausgiebigen Tests und Abwägung der jeweiligen Vor- und Nachteile wurde zugunsten von Variante zwei, dem Webapplikations-framework, entschieden.

Nächste Schritte: Für die weitere Projektlaufzeit liegen die Schwerpunkte einerseits auf Validierung, Test und Optimierung der Plattform, wobei ein besonderes Augenmerk auf einer möglichst automatisierten Anfragebearbeitung und Angebotserstellung durch die Dienstanbieter gelegt wird: Wenn Kundenanfragen einen qualifizierten Bauplan bereitstellen, sollen von der Plattform und den kollaborierenden Anbietern in kürzester Zeit fundierte Fertigungs- und Lieferangebote erstellt werden, basierend auf der Analyse der Baupläne und Bestellparameter. Ein weiterer innovativer Ansatz im Projekt ist die Einbindung eines Optimierungsdienstes, den die Platt-form aufrufen und nutzen kann, um aus mehreren Angeboten optimale Produktions- und Lieferketten zu errechnen und dem Kunden zur Auswahl anzubieten.

Konsortium

Software AG (Konsortialführer), FIR e. V. an der RWTH Aachen, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Materialise GmbH, DMG Mori Spare Parts GmbH, Top Mehrwert Logistik GmbH

Ansprechpartner

Dr. Dietmar Gärtner, Software AG
dietmar.gaertner@softwareag.com

DigiKAM

Digitales Netzwerk für additive Fertigung

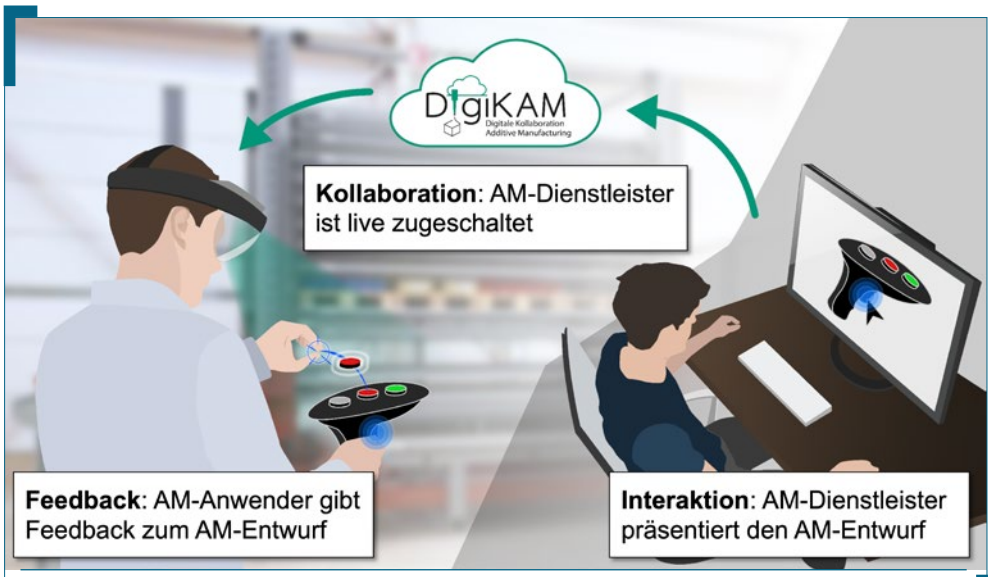
Kurzsteckbrief

DigiKAM strebt ein digitales Netzwerk an, das die additive Fertigung (AM) über den gesamten Wertschöpfungsprozess ermöglicht. Mithilfe einer skalierbaren Plattform werden branchenübergreifend Unternehmen über den gesamten, transparent und sicher gestalteten Entwicklungs- und Produktionsprozess miteinander vernetzt. Das Netzwerk richtet sich vor allem an kleine und mittlere Unternehmen (KMU), denen es aufgrund begrenzter Ressourcen nicht möglich ist, das notwendige Know-how zur additiven Fertigung selbst aufzubauen.

www.digikam.info

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Die von DigiKAM konzipierte Plattform ermöglicht es kleinen und mittleren Unternehmen, die Potenziale der additiven Fertigung für sich zu erschließen. Die Plattform setzt dabei ganz bewusst bereits beim Entstehungsprozess der additiven Fertigung an, etwa einer Potenzialanalyse oder dem Entwurf von Bauteilen. Die dafür notwendige Expertise holen sich die Unternehmen direkt über die Plattform ein, da sie dort mit geeigneten AM-Dienstleistern kollaborieren. In der Zusammenarbeit werden 3D-Technologien eingesetzt, um beispielsweise Bauteile zu scannen oder mittels Augmented Reality realistischer darzustellen. Der sichere Austausch der Entwicklungsdaten wird ebenfalls über die Plattform gewährleistet.



AR-Design Reviews ermöglichen die effiziente Abstimmung eines Entwurfs des Dienstleister mit dem Anwender mit Hilfe der Technologie Augmented Reality.

Bestimmung konkreter Anwendungsszenarien: In der ersten Projektphase ermittelte das Projektkonsortium mögliche Anwendungsszenarien für die Kollaborationsplattform und identifizierte zugleich potenzielle, AM-gerechte Bauteile, für deren Entwicklung die Plattform genutzt werden kann. Die Szenarien wurden im nächsten Schritt mit den Anwendungspartnern so weiterentwickelt, dass sie in die Projektdemonstratoren integriert werden konnten. Parallel trieben die Anwendungspartner die Integration der 3D-Druck-Technologie

in ihren unternehmensinternen Entwicklungsprozessen voran, um damit eine solide Basis für die effiziente Nutzung der additiven Fertigung sicherzustellen. In enger Abstimmung mit den Anwendungspartnern erfolgte zudem die Definition von Use Cases zum Einsatz von 3D-Technologien (3D Scan, AR Design Review), mit deren Hilfe die Kollaboration zwischen Anwendern und Dienstleistern unterstützt wird.

Entstehungsprozess: Haben sich AM-Anwender und AM-Dienstleister vertraglich über eine Kooperation verständigt, gilt es, zwei Entwicklungsprozesse zusammenzuführen: Während der AM-Anwender das gemeinsame Projekt aus der Perspektive des unternehmensspezifischen Entwicklungsprozesses angeht, steigt der AM-Dienstleister über einen unternehmensübergreifenden Referenzprozess ein, der einen idealtypischen Sollprozess beschreibt. Um diese beiden Positionen effizient zu koordinieren, ist dem Entwicklungsprozess ein digitaler Marktplatz vorgeschaltet. Auf diesem werden die AM-Anwender bei der Konkretisierung ihrer jeweiligen Anforderungen zunächst unterstützt und anschließend mit geeigneten Dienstleistern zusammengebracht. Um das zu leisten, wurde der Referenz- bzw. Sollprozess in einzelne Prozessschritte gegliedert. Diese lassen sich für eine individuelle Anpassung an unternehmensspezifische Use Cases konfigurieren und automatisiert ausführen.

Demonstratoren: Anhand von Demonstratoren wird die Funktionsweise der DigiKAM-Plattform erprobt und überprüft. Zwei Punkte stehen dabei im Vordergrund: Zum einen die plattformunterstützte Kommunikation während des AM-Entwicklungsprozesses, zum anderen die eingesetzten 3D-Technologien, die zur Abstimmung des AM-Entwurfs zwischen dem Dienstleister und dem Anwender dienen. Konkret: Der Anwender bewertet dem vom Dienstleister erstellten Bauteilentwurf mithilfe einer Augmented-Reality-Anwendung. Auf Basis dieser AR-gestützten Design Reviews, kann bei Bedarf auch live ein Feedback zur Verbesserung des Entwurfs gegeben werden.

Zukünftige Anwendungsfelder: Die im Rahmen der Demonstratoren umgesetzte digitale Kollaboration im AM-Entstehungsprozess sowie der AR-Design Reviews zeigen das Potential von Kommunikations- und 3D-Technologien für eine Produktentwicklung auf Basis der additiven Fertigung auf. Beide Demonstratoren lassen sich prinzipiell auf die spezifischen Entwicklungsprozesse bekannter Fertigungstechnologien, wie dem Drehen oder Gießen, übertragen.

Konsortium

Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM (Konsortialführer), Atos Information Technology GmbH, Krause DiMaTec GmbH, Miele & Cie. KG, Friedrich Remmert GmbH

Ansprechpartner

Harald Anacker, Fraunhofer IEM
harald.anacker@iem.fraunhofer.de

SAMPL

Sichere Plattform für Additive Fertigung

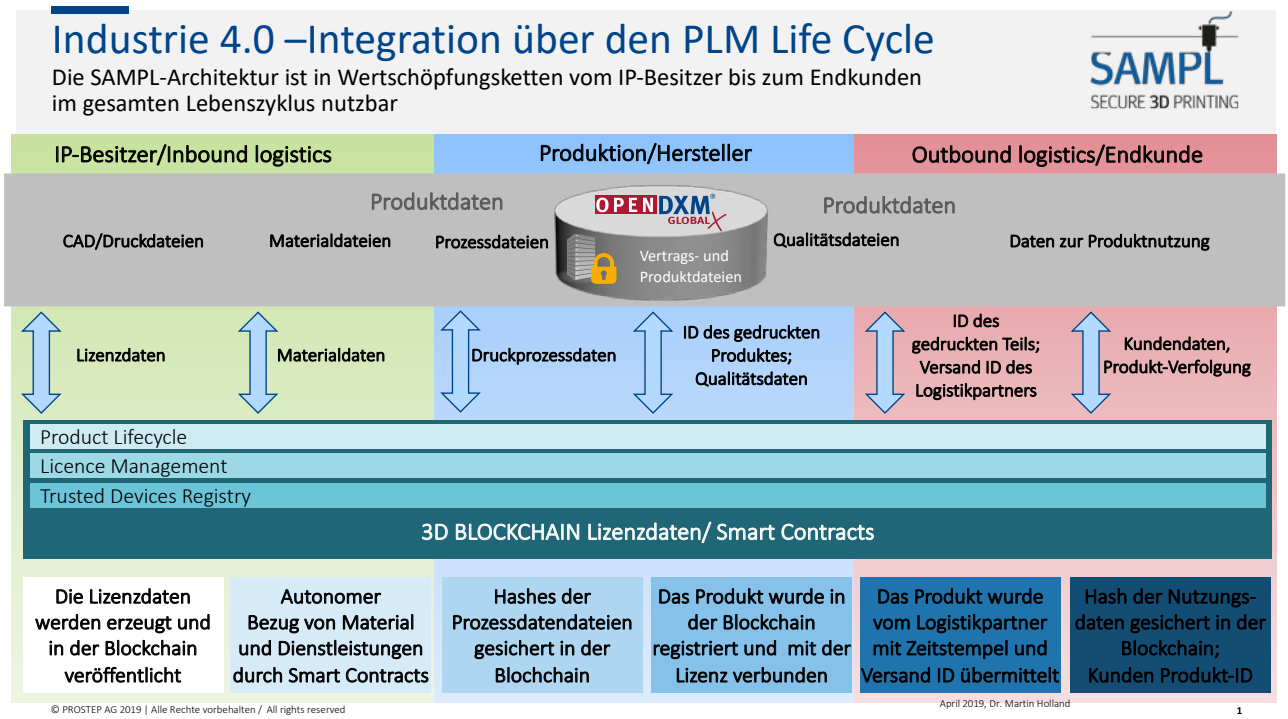
Kurzsteckbrief

SAMPL entwickelt eine durchgängige Sicherheitslösung für additive Fertigungsverfahren. Die Lösung sichert den gesamten Prozess von der Erzeugung der 3D-Druckdaten über den Austausch, die Lizensierung der Druckvorgänge und die Ausgabe auf speziell abgesicherten 3D-Druckern bis zur Kennzeichnung der gedruckten Bauteile mittels RFID-Chip oder anderer Methoden zum Ermöglichen der Nachverfolgbarkeit (Traceability) ab. Alle relevanten Informationen werden mithilfe der Blockchain-Technologie abgebildet.

www.sampl-3d.de

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

Damit additive Fertigungsverfahren ihr Potenzial in den Wertschöpfungsketten entfalten können, muss gewährleistet sein, dass die 3D-Druckdaten nur von autorisierten Personen sowie nur in der jeweils lizensierten Stückzahl verwendet werden können. Die dafür notwendigen Sicherheitslösungen müssen durchgängig den gesamten Prozess von der Erzeugung der 3D-Druckdaten über deren Austausch bis hin zur Druckausgabe abdecken. Die von SAMPL erarbeitete Sicherheitslösung basiert auf der Datenaustauschsoftware OpenDMX GlobalX von PROSTEP und wurde um ein digitales Linzenzmanagement ergänzt, das auf der Blockchain-Technologie aufbaut. Die Blockchain dient hier dazu, die Authentizität von Lizenzen nachzuweisen, sodass jederzeit nachvollziehbar ist, ob es sich um einen lizensierten 3D-Druck oder um eine Raubkopie handelt.



Schematische Darstellung der Systemarchitektur

Demonstrator: Die in SAMPL entwickelte Sicherheitsarchitektur kann über den gesamten Lebenszyklus und über alle Teile der Wertschöpfungskette von 3D-gedruckten Bauteilen genutzt werden (Abbildung 2) – vom IP-Besitzer bis zum Endkunden. Für einen Demonstrator wurde einige dieser Elemente protypisch verwendet. Im konkreten Anwendungsbeispiel wird gezeigt, wie ein Konstrukteur eine 3D-Druck-Datei sicher an einen Dienstleister übermittelt, um im Anschluss eine wohldefinierte Anzahl von Bauteilen mittels 3D-Druck bei diesem fertigen zu lassen. Nach dem Hochladen der Datei und der Auswahl des Empfängers, der Anzahl der Drucklizenzen und der gewünschten Sicherheitsstufe wird die Druck-Datei, die auch alle Prozessparameter enthält, in den Webspace des Dienstleisters übertragen. Gleichzeitig wird eine Transaktion, die etwa die verschlüsselte Prüfsumme der Druckdatei und die Anzahl der Lizenzen enthält, in die Blockchain geschrieben. Im Anschluss kann der Dienstleister über das entwickelte Demonstrator-Interface die Lizenzen auswählen und den Druck der Bauteile auf einem sicher an die Blockchain angebundenen Drucker starten, wobei eine weitere Transaktion in der Blockchain ausgelöst und die entsprechenden Lizenzen als verbraucht markiert werden. Die Prüfung der „Echtheit" bzw. der Lizenz-Informationen des 3D-gedruckten Bauteils kann durch das Auslesen von RFID-Chips und dem Abgleich mit den Informationen in der Blockchain erreicht werden, was ebenfalls mit Demonstrator gezeigt wird.

Vertraulichkeit des Datenaustauschs: Im Rahmen des SAMPL-Projekts wurde auch eine Analyse zur Vertraulichkeit und Privacy auf Blockchains durchgeführt. Diese ergab, dass durch Transaktionen Informationen öffentlich werden und auf die pseudonymisierten Wallet IDs der Beteiligten zurückgeführt werden können. Für dieses Problem wurde eine Lösung erarbeitet: Durch Kombination bestehender und neu-etablierter Konzepte können im Rahmen der SAMPL-Architektur Informationen zu Absender, Empfänger und übertragenen Lizenzrechten vollständig verschleiert werden, ohne die Korrektheitsprüfungen während der Überprüfung von Transaktionen zu beinträchtigen.

Auf zahlreichen Messen und Veranstaltungen (z. B. Hannover Messe Industrie 2017, 2018 und 2019) wurde das SAMPL-Projekt vorgestellt, wodurch wichtige Hinweise und Anregungen potenzieller Anwender aufgenommen werden konnten. Zur Hannover Messe 2018 wurde vom Projektpartner 3D MicroPrint die prototypische Anbindung eines Metalldruckers an die Blockchain-basierte SAMPL-Plattform erreicht. Zur Hannover Messe 2019 erfolgte die beispielhafte Integration des Secure Elements in den Drucker von 3D MicroPrint zur Absicherung einzelner Drucker und der Kommunikation mittels der SAMPL- Lösung. Im Projektverlauf wurden REST-Services und -Schnittstellen definiert, die die Kommunikation der Komponenten untereinander ermöglichen. Die Auswahl dieser Services hat sich nicht zuletzt bei der erfolgreichen Anbindung von Druckern der SLM Solutions an SAMPL als sehr vorteilhaft erwiesen. Auf diesem Wege konnte der SAMPL-basierte und damit lizensierte Druck eines Bauteils der Firma Weidmüller auf Metalldruckern der SLM Solutions als Pilotanwendung erfolgreich realisiert werden.

Konsortium

PROSTEP AG (Konsortialführer), 3D MicroPrint GmbH, consider it GmbH, Fraunhofer ENAS, NXP Semiconductors Germany GmbH, Technische Universität Hamburg-Harburg – Institut für Flugzeug-Kabinensysteme, Universität Hamburg – Hamburg Research Center for Information Systems, Universität Ulm – Institut für verteilte Systeme

Ansprechpartner

Martin Holland, PROSTEP AG
martin.holland@prostep.com

VariKa

Vernetztes Produkt- und Produktions-Engineering am Beispiel variantenreicher Fahrzeugkarosserien

Kurzsteckbrief

Autos werden heute mit zahlreichen Individualisierungsmöglichkeiten angeboten. Diese Optionen beeinflussen auch den Bauraum der Batterie – so braucht ein hybrid angetriebenes Fahrzeug einen anderen Batterieträger als ein rein batterieelektrisch betriebenes Fahrzeug. Im Projekt VariKa werden Methoden entwickelt, mit denen eine variantenreiche Fertigung geringer Stückzahlen wirtschaftlich umsetzbar ist. Entwickelt, erarbeitet und erprobt werden diese Methoden anhand eines variantenreichen Batterieträgers und der zugehörigen Prozesskette. Der Batterieträger entsteht in Mischbauweise aus bearbeiteten Halbwerkzeugen und 3D-gedruckten Verbindungselementen. Die im Projekt entwickelten Methoden erlauben, eine Schwingfestigkeitsbewertung an additiv gefertigten Bauteilen unter Berücksichtigung der Fertigungseinflüsse sowie die Bewertung von Schweißverbindungen zwischen additiv gefertigten Knoten und Metallprofilen durchzuführen. Eine Bewertung von einfachen crashartigen Belastungen rundet die Methodenentwicklung ab. VariKa demonstriert, welche Potenziale die Kombination aus additiver Fertigung („additive manufacturing", AM) mit vorrichtungslosem Fügen für die Fertigung von Fahrzeugkomponenten besitzt.

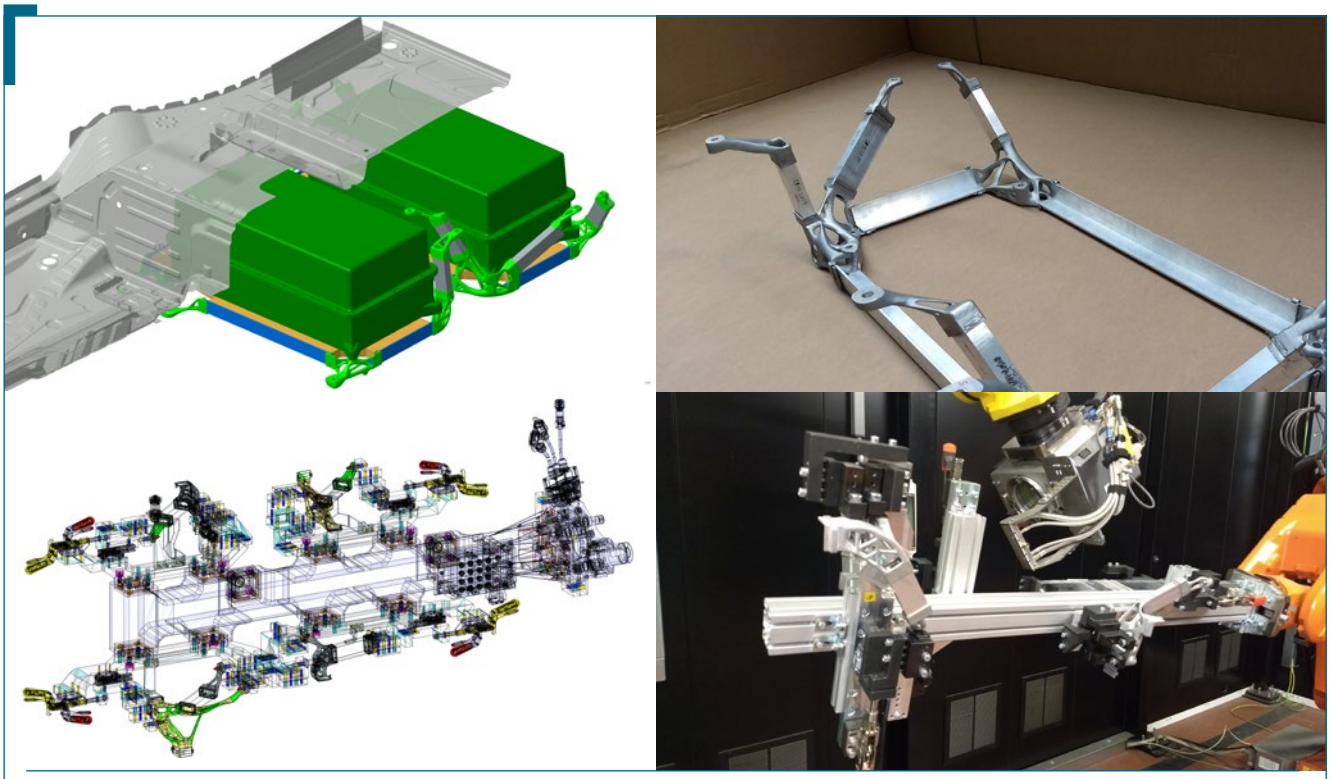
www.varika.de

Aktuelle Entwicklungen aus dem Projekt

In der ersten Projektphase wurde die Konzeptkonstruktion des gesamten Batterieträgers abgeschlossen und eine Hilfsvorrichtung zu dessen Aufnahme im Dauerlaufversuch konstruiert und angefertigt. Seither lag der Fokus auf den technologischen Randbedingungen wie der Modellierung des AM-Werkstoffs AlSi10Mg, der fertigungsgerechten Gestaltung der Bauteile sowie der Optimierung der erforderlichen Fügevorgänge.

Erfahrungen aus Praxistests: In mehreren Iterationsschleifen aus AM-Fertigung und Fügeversuchen wurden wertvolle Erkenntnisse über die fügegerechte Gestaltung vor allem der AM-Bauteilgeometrien gewonnen: Das vorrichtungslose Fügen erfordert teilweise weniger komplexe Geometrien zur Sicherstellung einer definierten Bauteilposition. Gleichzeitig lassen sich nicht alle wünschenswerten Positionierhilfen in jeder Fertigungsposition eines Bauteils realisieren. Dies erfordert spezifische AM-taugliche Geometrien, die vorzugsweise unabhängig von der Baurichtung realisierbar sind. Parallel erfolgten Versuchsreihen zur Ermittlung geeigneter Schweißparameter zum Fügen der AM- und stranggepressten Bauteile. Schliffproben der ausgebildeten Schweißgefüge wurden begleitend im Labor analysiert, deren Ergebnisse flossen in die Arbeiten zur Modellbildung ein.

Ergebnisse aus Computersimulationen: Im Projekt wurde auch die Modellierung des AlSi10Mg-Materials mithilfe von Computersimulationen fortgeführt. Das reine Materialverhalten ist dabei insbesondere im plastischen Teil als anisotrop anzusehen, also als abhängig von der Richtung. Das AM-Material weist in dieser Hinsicht damit eher Eigenschaften von Hölzern statt von Metallen auf. Die Auswirkungen der vorhandenen Poren wurden untersucht und es wurde damit begonnen, ein Modell zur Berücksichtigung der Poren zu entwickeln. Für eine vereinfachte Modellierung und Schwingfestigkeitsbewertung der Laserstrahl-geschweißten Verbindungen an klassisch gewalzten Aluminiumblechen und additiv gefertigtem Aluminiumstrukturen, werden sogenannte RBE3-Elemente eingesetzt. Die Kalibrierung dieser Modellierung wird in Abhängigkeit der Verfügbarkeit der Versuchsdaten weitergeführt.



Hinterer Abschnitt des Batterieträgers als CAD-Modell und reales Muster / Quelle: EDAG Engineering GmbH, FFT Produktionssysteme GmbH
Geometriegreifer zum Fügen von Einzelbauteilen des hinteren Trägerabschnitts als CAD-Modell und reales Muster / Quelle: FFT Produktionssysteme GmbH

Entwicklung variationsreicher Greifer: Der Fertigungspartner FKM konzipierte und realisierte vorrichtungslose Fügewerkzeuge in Form von spezifischen Geometriegreifern, die geometrisch variable Einzelbauteile bzw. Teilabschnitte aufnehmen können und so eine schnelle Adaption der Fertigung an eine Variantenänderung des zu fertigenden Batterieträgers erlauben. Der Roboter positioniert den Greifer und damit die Bauteile dabei optimal für jeden Schweißvorgang. Das Fügekonzept für den gesamten Batterieträger ist zweistufig ausgelegt: Profilabschnitte und AM-Strukturknoten werden zunächst aus Einzelteilen zu Struktur-Teilabschnitten gefügt. Im zweiten Schritt entsteht der komplette Batterieträger durch Verbinden dieser Teilabschnitte.

Wirtschaftliche Gesichtspunkte: Projektbegleitend wird die Wirtschaftlichkeit des Ansatzes von VariKa, vergleichend mit konventionellen Fertigungs- und Fügemethoden, untersucht. In diese Untersuchung fließen aktuelle Erkenntnisse aus dem Projekt ein. Es zeichnet sich ab, dass die Wirtschaftlichkeit der Mischbauweise additiv und konventionell gefertigter Teile in Kleinserie immer eine Betrachtung des konkreten Einzelfalls erfordert. Je mehr Funktionen im Bauteil integriert werden können, und dadurch Einzelteile und Fügeoperationen entbehrlich werden, desto wirtschaftlicher wird die in VariKa betrachtete Mischbauweise und verschiebt die break-even-Stückzahl nach oben. Geometrie und Abmessung der AM-Bauteile als bestimmende Größen für Zykluszeit und Füllung des zur Verfügung stehenden AM-Bauraums sind daher auch unter AM-spezifischen Fertigungsaspekten aufeinander abzustimmen.

VariKa leistet auch einen Beitrag zur Verbesserung der Durchgängigkeit der digitalen Prozesskette und bewirkt eine deutliche Verkürzung der Rüst-/ Antwortzeiten bei Variantenänderungen des zu fertigenden Bauteils.

Konsortium

EDAG Engineering GmbH (Konsortialführer), Opel Automobile GmbH, FFT Produktionssysteme GmbH & Co. KG, FKM Sintertechnik GmbH, Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Ansprechpartner

Martin Hillebrecht, EDAG Engineering GmbH
martin.hillebrecht@edag.com

Ansprechpartner bei Projektträger und Begleitforschung

Projektträger DLR

Gerd Hembach | gerd.hembach@dlr.de

Begleitforschung

Leitung der Begleitforschung, Kurzstudien
Peter Gabriel | gabriel@iit-berlin.de

Stellvertretende Projektleitung, Monitoring
Dr. Steffen Wischmann | wischmann@iit-berlin.de

Projektbüro
Nicola Rosenbusch | rosenbusch@iit-berlin.de

Fachgruppe Geschäftsmodelle, Verwertungsunterstützung
Birgit Buchholz | buchholz@iit-berlin.de

Fachgruppe Recht
Uwe Seidel | seidel@iit-berlin.de
Sebastian Straub | straub@iit-berlin.de

Fachgruppe Architekturen
Dr. Inessa Seifert | seifert@iit-berlin.de
Dr. Lisa Risch (DIN) | lisa.risch@din.de

Standards, Normen
Dr. Lisa Risch (DIN) | lisa.risch@din.de

Ergebnistransfer
Ute Rosin (LHLK) | u.rosin@lhlk.de
Lynn Rohwer (LHLK) | l.rohwer@lhlk.de

www.paice.de