

INHALTSVERZEICHNIS

1. **Wohin geht die Reise für den 3D-Druck von Metallbauteilen? 6**

2. **Welche Industrialisierungsstufen durchläuft der 3D-Druck?..... 18**

3. **Mit welchen betriebswirtschaftlichen Kriterien lassen sich geeignete Teileumfänge identifizieren?... 26**

4. **Wie entwickeln sich die Märkte für den 3D-Druck?..... 36**

5. **Wie muss die IT-Architektur und Digitalisierung für den 3D-Druck gestaltet werden?..... 41**

6. **Wie ist das Rohstoffmanagement zu gestalten? 56**

7. **Welche Optimierungsfelder sind zu beachten?..... 59**

8. **Wie ist das Ökosystem zu gestalten? 63**

9. **Welche Einführungsstrategien sind effizient? 65**

10. **Welche Auswirkungen hat der 3D Druck auf die Standortplanung? 69**

11. **Literaturverzeichnis..... 72**

1. Wohin geht die Reise für den 3D-Druck von Metallbauteilen?

Die additive Fertigung ist weit mehr als eine Verbesserung der bestehenden Produktionsverfahren. Die Technologie ändert unser Verständnis von Produktion grundsätzlich: aus Minus wird Plus. Während bei dem bisherigen, subtraktiven Fertigungsverfahren von einem Rohteil so lange Material abgetragen wird, bis die gewünschte Form erreicht ist, wird beim 3D-Druck das Material durch einen Laser- oder Elektronenstrahl verschmolzen, bis die gewünschte Geometrie erreicht ist. Das Teil erhebt sich, wie ein Phoenix, Scheibe für Scheibe aus dem Pulverbett. Die Idee ist nicht neu. Seit etwa 30 Jahren wird damit experimentiert. Aber erst jetzt, in Verknüpfung mit den Möglichkeiten der Digitalisierung, wird sie marktreif. Heute werden weltweit für etwa 500 Millionen Euro Produkte gedruckt. In fünf Jahren erwarten wir bereits das zehnfache. Und wenn nur 2% der traditionellen Produktion in Zukunft additiv gefertigt wird, sind das mehr als 200 Milliarden Euro.

Die Technologie markiert eine Zeitenwende in der industriellen Fertigung. Anfangs waren es vor allem Kunststoffteile, die dreidimensional gedruckt wurden, dann folgten Prototypen aus Metall. Inzwischen ist der 3D-Druck aus Metallpulver jedoch auf bestem Wege, das Versuchsstadium zu verlassen, es gibt keine Zweifel mehr: Die Additive Fertigung hat das Potential, einen der zentralen Bereiche der Industrie, die Metallverarbeitung, zu revolutionieren. Statt aus Metallblöcken mühselig Werkstücke heraus zu fräsen, zu drehen, zu schneiden und zu bohren, werden immer mehr Teile aus Pulver und per Laser hergestellt.

Die additive Fertigung bezeichnet...



➔ ...den schichtweisen Aufbau eines Bauteils ohne Werkzeuge aus einem digitalen Modell

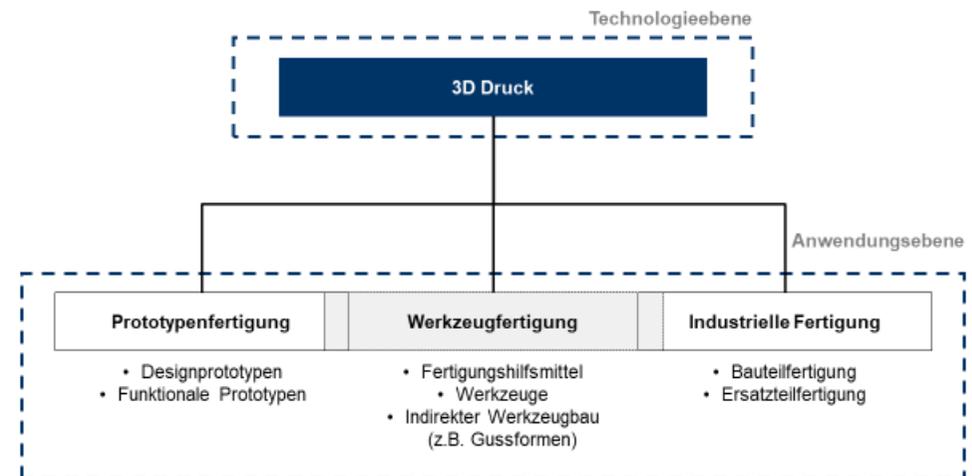
Experten prognostizieren ein jährliches Umsatzwachstum von 35 Prozent bis 2025. Damit überschreitet die Technologie in den kommenden Jahren die Schwelle zur Industrialisierung. Das heißt, mit dem massenhaften Einsatz der Technologie werden die Kosten sowohl pro Drucker als auch pro Teil sinken.

Die Vorzüge des 3D-Metall-Drucks sind unübersehbar: Das Verfahren erlaubt die Herstellung ganz neuer, komplizierter Teile, zu der die herkömmliche Metallverarbeitung technisch oder wirtschaftlich nicht in der Lage ist. Hinzu kommt, dass die additive Fertigung gegenüber der traditionellen Metallverarbeitung viel Aufwand und Material erspart. Auch die Fehlerquellen werden reduziert. Was dies für die Kunden bedeutet und welche neuen Geschäftsmodelle sich daraus für Unternehmen ergeben, zeigen die erfolgreichen Beispiele aus der Praxis.

3D-Metall-Druck ermöglicht, bionisch zu konstruieren, also die komplizierten aber sehr effektiven Strukturen im Pflanzen- und Tierreich zu kopieren. So hat der Pelikan zum Beispiel Knochen, die fast hohl sind, dank hauchdünner Streben im Innern aber eine extreme Festigkeit besitzen. Gelingt es, diese Struktur mit dem Computer nachzubilden und per 3D-Druck herzustellen, sind völlig neuartige, leichte aber trotzdem robuste Konstruktionen denkbar.

Nur durch Prototypentüftler und Druckaufträge im Labormaßstab sind die Marktziele nicht zu erreichen. Das Problem: Die additive Fertigung gleicht heute mehr einer vorindustriellen Manufaktur als einer effizienten Prozesskette. Dies führt dazu, dass die Stückkosten nach wie vor hoch sind und sich die Anwendungsfelder der additiven Fertigung auf Spezialbereiche wie den Prototypenbau oder die Luftfahrtindustrie

Der 3D-Druck hat die Schwelle zur industriellen...



➔ ...Fertigung bereits überschritten.

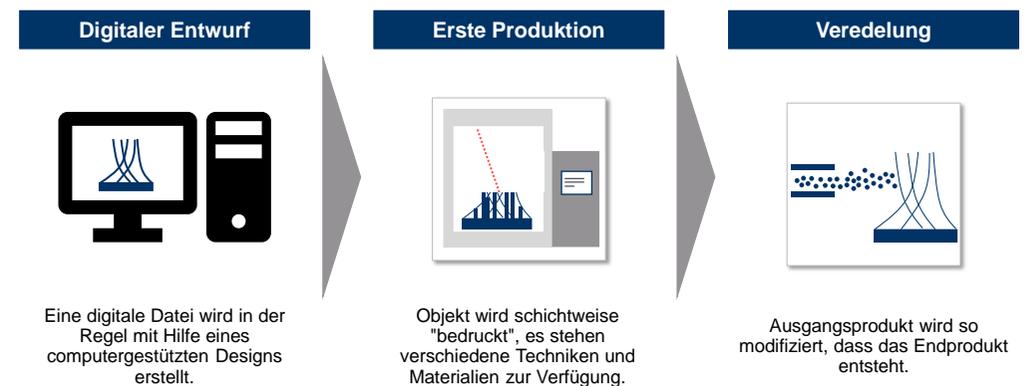
beschränken – also auf Bereiche, in denen die Komplexität hoch oder die Stückzahlen gering sind. Die Skalengkurve ist flach und daraus folgt: Beim 3D-Metall-Druck kommt es nicht mehr so sehr auf die großen Mengen an, da sich mit einem Drucker fast beliebig viele unterschiedliche Teile in noch so kleiner Stückzahl (Losgröße 1) herstellen lassen. Im Gegenzug gibt es Komplexität fast kostenfrei.

Die Vorteile additiver Fertigungsverfahren lassen sich in vier Schlüsseldimensionen zusammenfassen:

- Zeitvorteile in der Produktion,
- ortsungebundene Produktion,
- wirtschaftliche Fertigung komplexer Teilegeometrien und
- Beeinflussungsmöglichkeiten der Produktionscharakteristika.

Im optimalen Fall lässt sich die Wertschöpfungskette der additiven Fertigung auf die Schritte des Entwurfs eines digitalen Zwillings des Produktes sowie die Produktion des gewünschten Bauteils reduzieren. Häufig sind im Anschluss an die additive Fertigung noch Veredelungsprozesse notwendig – zur Entfernung von Stützstrukturen, zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften oder zur Veränderung der Materialeigenschaften. Zeitliche Vorteile ergeben sich vor allem bei der Erstproduktion eines Bauteils durch den Entfall der Erstellung produktspezifischer Werkzeuge und Vorrichtungen, die bei konventionellen Fertigungsverfahren wie dem Gießen notwendig sind. Darüber hinaus verkürzt sich die Wertschöpfungskette insbesondere bei komplexen Bauteilen durch eine Reduktion der notwendigen Bearbeitungsschritte. Werden konventionelle Verfahren verwendet und komplexe Bauteile

Die additive Fertigung ...



➔ ... ermöglicht eine Verkürzung der Wertschöpfungskette.

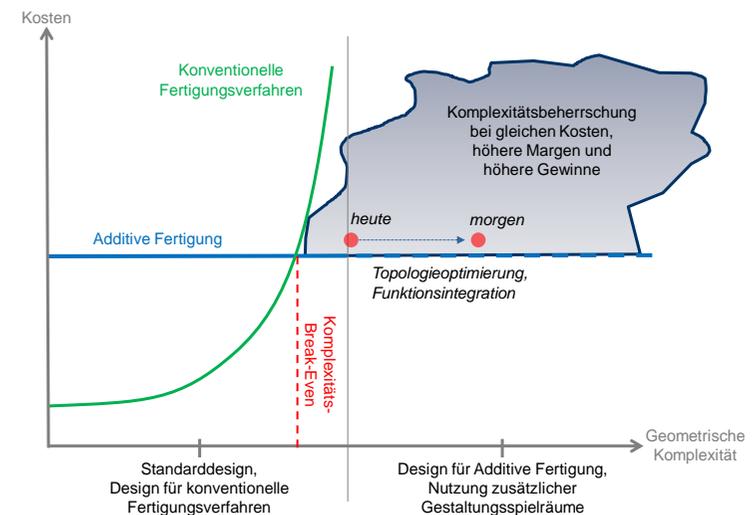
erstellt, ist es notwendig zahlreiche verschiedene Fertigungsverfahren zu kombinieren und aneinanderzureihen. Es resultiert eine lange Wertschöpfungskette mit einer Vielzahl an Fertigungsschritten, um die gewünschten Geometrien abzubilden.

Da keine produktspezifischen Werkzeuge bei der additiven Fertigung notwendig sind, wird darüber hinaus die ortsungebundene Produktion ohne wirtschaftliche Nachteile oder die Notwendigkeit zusätzlicher Investitionen möglich. Stehen an mehreren Standorten vergleichbare additive Fertigungsanlagen zur Verfügung, ist lediglich der Versand des digitalen Bauteilmodells notwendig, um den Herstellungsprozess an einem anderen Standort zu durchlaufen. Hierdurch lassen sich kritische Bauteile in der geografischen Nähe von Kunden herstellen und die Lieferzeiten und Transportkosten reduzieren.

Die Kosten für die additive Fertigung sind nahezu unabhängig von der gefertigten Bauteilkomplexität. Der schichtweise Bauteilaufbau ermöglicht die Abbildung komplexer und teilweise konventionell nicht fertiger Geometrien. In jeder Schicht lassen sich die Produkteigenschaften durch eine Veränderung der Produktionscharakteristika beeinflussen. Werden Maschinenparametern oder das verwendete Material zwischen den Schichten variiert, lassen sich Gradientenbauteile erzeugen, bei denen sich die Materialeigenschaften über das Bauteil hinweg verändern. Mittels konventioneller Verfahren ist dies kaum möglich, ohne mehrere Komponenten zusammenzufügen.

Als Investitionsentscheidung wird sich der 3D-Druck aber immer im Vergleich mit konventioneller Technologie messen müssen und hier ist die einzige Chance, die Kostenkurve der additiven Fertigung nach

Additive Fertigungsverfahren ...



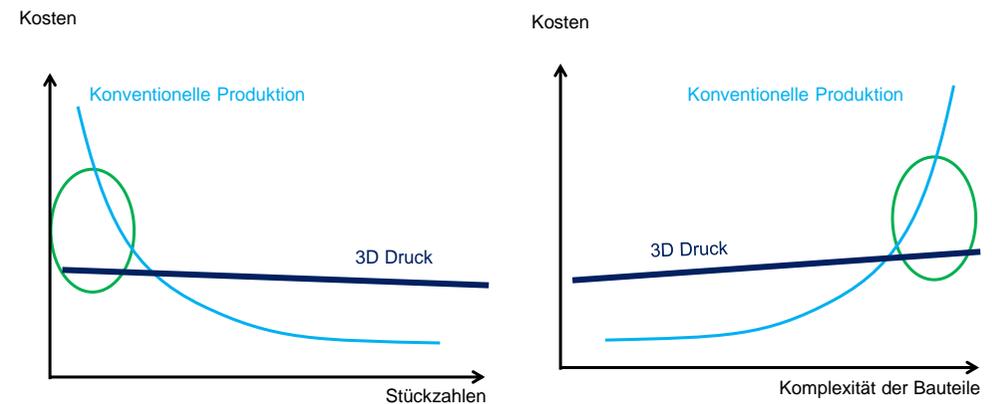
➔ ... ermöglichen eine mehrpreisfähige Bauteilkomplexität unabhängig von der Stückzahl ohne Mehrkosten.

unten zu ziehen, um die Anwendungsbereiche anwachsen zu lassen. Mehr Produktivität heißt mathematisch: Weniger Kosten bei höherem Output. Das Besondere hierbei: Es geht um die gesamte Wertschöpfungskette. Betrachtet man den Reifegrad der Technologien, so wird laut Gartner in etwa 2-5 Jahren der 3D-Druck auch in der Automobilindustrie produktiv einsetzbar sein.

Seit jeher musste sich jede neue Technologie gegenüber den Zweiflern und Bedenkenträgern durchsetzen. Das gilt für das Internet, das Auto, ja selbst für so selbstverständliche Dinge wie die Wechsellagerung - von der Edison gesagt hatte, es wäre Zeitverschwendung, mit ihr herumzuspielen. Dennoch wird die additive Revolution kein Selbstläufer. Aber die Umsetzung der Industrialisierung der additiven Fertigung steht am Anfang und gerade in Deutschland haben wir momentan einen blühenden Kristallisationspunkt, den wir nun schichtweise aufbauen sollten. Industrialisierung funktioniert nicht durch Einzelakteure, sondern nur im Verbund von Vielen. Die Anwender und Druckerhersteller müssen gemeinsam an der Lösung für Applikationen arbeiten – anwenderinduzierte Innovationen sind nicht nur notwendig, sondern bereits gelebte Realität.

MTU – Echtzeitüberwachung des Druckvorganges: MTU entwickelte als Anwender eine optische Tomographie für die Echtzeitüberwachung der metall-basierten additiven Serienfertigung. Mit Hilfe dieser Technologie können die Kosten für die nachgelagerte, zerstörungsfreie Prüfung im technischen Computertomographen deutlich reduziert werden, weil potenziell fehlerhafte Teile vorher aussortiert werden. Die Technologie basiert auf der automatisierten Überwachung der Erstellung jeder einzelnen Schicht mit Hilfe von künstlicher Intelligenz.

Der 3D Druck ist momentan vor allem sinnvoll bei...



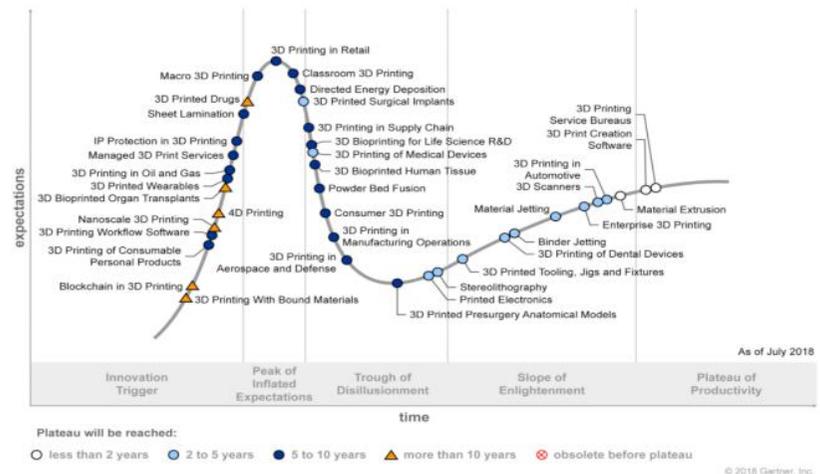
➔ ... geringen Stückzahlen und hoher Bauteilkomplexität.

Oerlikon - direkte Vorteile durch Struktureigenschaften und Individualisierung in der Medizin: Die Anforderung nach hoher Materialqualität bei sehr individuellem Produktdesign sind wie geschaffen für die Zahnmedizin oder die Implantat Industrie. Bei Knieimplantaten aus dem Drucker verkürzt sich die Genesungszeit des Patienten auf bis zu der Hälfte, da weniger Knochen entnommen werden müssen und spezielle Porositäten und ein patientengerechtes bionisches Design den Heilungsprozess beschleunigen.

Lego – indirekte Optimierung durch verbesserten Werkzeugbau: Im Werkzeugbau setzt sich dieser Gestaltungsfreiraum fort. Form- und Presswerkzeuge können jetzt mit winzigen, konturnahen Kühlkanälen versehen werden, die eine gleichmäßige und schnellere Kühlung der Formwerkzeuge erlaubt. Damit werden die Taktzeiten in der Fabrik signifikant beschleunigt und die Produktqualität verbessert. Die wirtschaftliche Wirkung entfaltet sich hierbei indirekt. Mit den additiv gefertigten Werkzeugen können die Spritzgussmaschinen nun dreimal so viel Kunststoffklötzchen und -figuren wie früher produziert werden. Obwohl die Werkzeuge wegen des 3D-Drucks viel mehr kosten, sind die Herstellungskosten unterm Strich nur noch halb so hoch.

Siemens – Schnellere Wiederinbetriebnahme kritischer Komponenten bei Kraftwerken: Normalerweise benötigte Siemens 44 Wochen, um einen verschlissenen Brenner in einem Kraftwerk zu reparieren. Heute sind es nur noch vier Wochen. Statt Ersatzteile herzustellen, werden von den verschlissenen Brennerköpfen elf Millimeter abgetragen und per 3D-Metall-Druck die verlorenen Formen wieder aufgetragen. Die neue Technologie ermöglicht sogar, die alten Brenner auf die neueste Generation umzurüsten. Der Vorteil liegt auf beiden Seiten. Die

Die additive Fertigung hat die Schwelle...

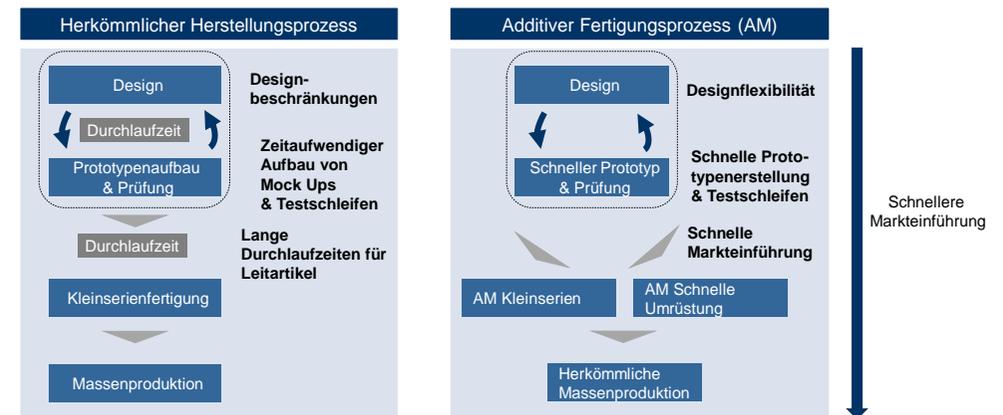


➔ ...zur produktiven, industrialisierten Nutzung überschritten.

Kraftwerksbetreiber können die Anlage schneller wieder in Betrieb nehmen und mehr Strom verkaufen. Siemens verschafft sich einen Vorteil gegenüber Wettbewerbern, die dazu nicht in der Lage sind.

General Electric – Topologie Optimierung von Flugzeugteilen: Schweres zu transportieren ist teuer, vor allem durch die Lüfte. Mit 3D-Metall-Druck lassen sich ungeahnte Einsparungen erzielen. Dem amerikanischen Konzern General Electric gelang es, mit Hilfe der additiven Fertigung 18 Einzelteile eines Düsenantriebs zu einer einzigen komplexen Komponente zusammenfassen. Das spart 25 Prozent Gewicht, gleichzeitig hält das Teil fünfmal so lang. Das Prinzip funktioniert im Großen wie im Kleinen. So wiegt das Gurtschloss im Super-Airbus A 380 nur noch 45 Prozent eines herkömmlichen Modells. Ein A380 spart dadurch über die gesamte Flugzeit Kerosin im Wert von zwei Millionen Euro. Für die Hersteller von Teilen aus 3D-Metall-Druck sind die Einsparungen auf Kundenseite vielfach die einzige Möglichkeit, die hohen Kosten der neuen Technologie und die entsprechenden Preise der Produkte rechtfertigen. Bereits jetzt setzt die Aviation Sparte von General Electric im neuen LEAP Triebwerk auf den additiven Ansatz. Gedruckte Einspritzdüsen sind bis zu 25% leichter und ermöglichen eine 15% bessere Kraftstoffeffizienz bei gleichen Produktionskosten. Unterm Strich sieht General Electric durch das LEAP Triebwerk Treibstoffeinsparungen von über 1,6 Mio. USD pro Jahr und pro Flugzeug. Die Technologie setzt durch gezielte Gewichtseinsparungen ungeahnte Treibstoffpotenziale frei. Auch die Möglichkeit, die Produktions- und Zertifizierungszeit in der Luftfahrtindustrie von mehreren Jahren auf mehrere Monate zu reduzieren – geschehen beim T25 Sensorgehäuse von General Electric – zeigt das Potenzial der Technologie.

Die additive Fertigung ermöglicht...

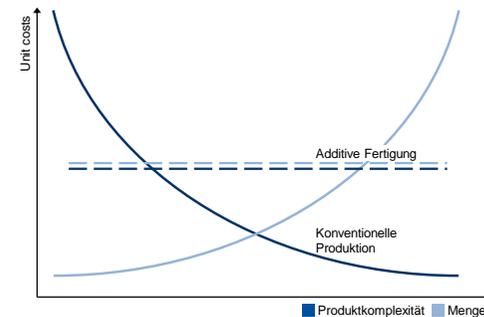


➔ ...eine kurze Time-to-Market durch geringe Vorlaufzeiten.

MAN – High Class Produkte und Kleinstserien im Fahrzeugbau:

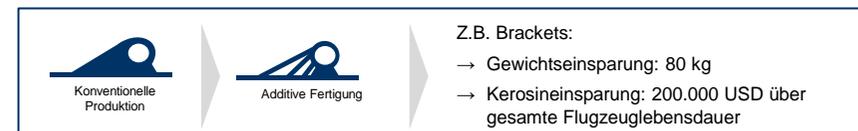
Der Weg in die breite industrielle Anwendung mag gerade erst beginnen, dennoch gibt es jetzt bereits Beispiele jenseits filigraner Hochleistungsbionik. Der Münchner Nutzfahrzeughersteller MAN untersucht seit 2015 die Einsatzmöglichkeiten der additiven Fertigung in der Ersatzteillogistik. Die langen Lieferversprechen machen eine Kalkulation des zukünftigen Ersatzteilbedarfes anspruchsvoll. Man kann sich gut vorstellen, welchen Einfluss eine Lieferverpflichtung von 35 Jahren auf den eigenen Ersatzteilbestand hat oder welcher Aufwand bei der Nachproduktion eines 20 Jahre alten Gehäusedeckels anfällt, wenn die Werkzeuge dafür nicht mehr verfügbar sind. Abnahmemengen in Kleinstmengen werden von Lieferanten oft nicht angeboten. Die Kosten explodieren - insbesondere bei exotischen Einzelteilen. Der 3D-Druck ermöglicht Lieferzeiten von wenigen Tagen ohne jeglichen physischen Ersatzteilbestand, Werkzeugkosten oder Mindestabnahmemengen. Das kann eine Win-Win-Situation für das Unternehmen und den Kunden sein. Auch Daimler hat den Eintritt in die additive Fertigung für die Ersatzteillogistik bereits angekündigt. Ob und wann die Technologie in die Serienproduktion in der Automobilindustrie einzieht, steht momentan noch in den Sternen. Dennoch kommen die Turboladergehäuse für einen 1.036 PS Motor bei der Firma Königsegg bereits aus dem Drucker, da das Meisterstück der Ingenieure aufgrund der komplexen Form nicht gegossen werden konnte. BMW produziert die Flügelräder für das DTM Team im additiven Verfahren und ermöglicht dadurch eine kontinuierliche Verbesserung der Flügelgeometrie zu niedrigeren Kosten. Bei den wichtigsten Industriekonzernen hat die additive Fertigung längst einen Platz in der eigenen strategischen Planung.

Die additive Fertigung ermöglicht komplexe...



- Gewichtseinsparung
- Reduktion der Teileanzahl, der Produktions- und Montageschritte
- Teilekomplexität verursacht keine Mehrkosten

Die Additive Fertigung ermöglicht Bauteilkomplexität ohne Mehrkosten



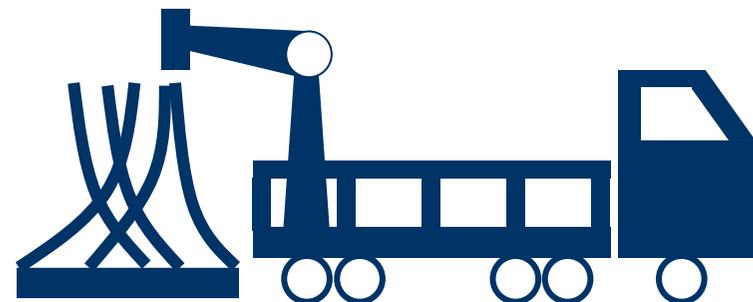
➔ ... und gewichtsreduzierte Designs ohne Mehrkosten.

US Army – Fronteinsatz von additiv fertigen Robotern als Spezialapplikation: Die hohe Komplexität und die enormen Funktions- und Qualitätsanforderungen der teilweise feingliedrigen Luftfahrtindustrie ist wie geschaffen für die additive Fertigung – aber eben nicht nur. Die amerikanische Firma Meld wurde Anfang August 2018 von der US Army für eine Forschungskoooperation ausgewählt. Im Kern dieser Kooperation steht eine Weiterentwicklung des Rührreißschweißens. Ergänzt um eine Materialzuführung lassen sich dadurch dreidimensionale Strukturen aufbringen. Als Spezialapplikation sind dadurch etwa mobile Reparaturfahrzeuge für den Fronteinsatz vorstellbar, welche auch nichtschweißbare Metallbereiche durch Fügen, Beschichten oder Materialauftrag reparieren können. Auch das ist also die additive Fertigung. Wir können uns nur vorstellen, welche Nischen sich durch konsequente Verfahrensauffächerung und Spezialisierung noch aufdecken lassen.

Spezialisten (Oerlikon, Toolcraft, Protolabs): Die Firma Oerlikon hat sich das Ziel gesetzt, der führende Industrieanbieter für metallischen 3D-Druck zu werden und seinen Kunden weltweit den Wettbewerbsvorteil der Technologie zu erschließen. Oerlikon will dabei ein stabiler Partner der verarbeitenden Industrie sein und das Know-how der Metallpulverproduktion und der Oberflächenbehandlung, auf den gesamten Prozess zu übertragen: von der Beratung, zum Material, Produkt-Design, 3D-Druck und Finishing. Sie begleiten die Industriekunden als strategischer Partner im gesamten Prozess, vom Produktdesign über den eigentlichen Druckprozess bis hin zur Nachbearbeitung und Qualitätssicherung. Dies leisten sie über ihre weltweiten Niederlassungen sowie über 3D-Fertigungsstandorte in Europa und den USA.

Durch Möglichkeiten zum mobilen Einsatz ...

Quelle: Meld Manufacturing Corp., 2018

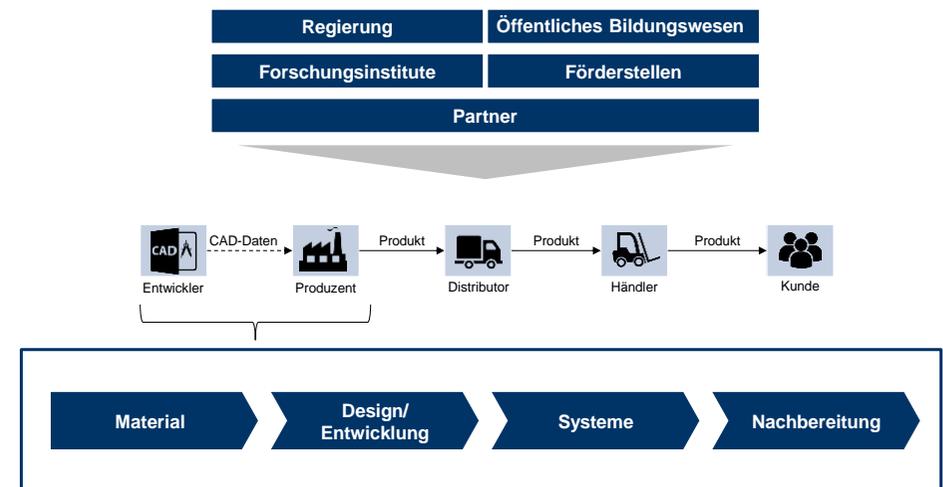


➔ ... additiver Fertigungsverfahren, ergeben sich neue Anwendungsmöglichkeiten und Geschäftsmodelle.

Betrachtet man die Hersteller der Drucker zeigt sich eines deutlich: Viele sind keine klassischen Maschinenbauer, dafür aber hochqualifizierte Verfahrensexperten – enge Kooperation mit den deutschen Automatisierungsspezialisten wird dann zum Schlüsselfaktor. Mit der Laser-Profusion-Technologie präsentiert EOS ein revolutionäres Verfahren zur additiven Fertigung mit Kunststoffen: Knapp eine Million Diodenlaser schmelzen den Werkstoff auf und lassen das Bauteil Schicht für Schicht entstehen. Der Bauprozess ist so produktiv, dass er in vielen Anwendungen als Spritzgussersatz dienen kann. Auch die Hersteller von Pulvern und Materialien für den 3D-Druck tragen durch neue optimierte Legierungen zur kontinuierlichen Verbesserung der additiven Fertigung bei. So hat der Hersteller Heraeus eine besonders harte und gut verarbeitbare Aluminium-Speziallegierung Scalmalloy© für die additive Fertigung entwickelt. Die vor- und nachgelagerten Auslegungs- und Simulationsprozesse zeigen, dass Software und IT zum zentralen Werthebel werden. Ohne Rechenwerkzeuge keine additive Fertigung. Aber auch der gesamte Planungsprozess und die Schnittstelle zu Kunden wird digital abgewickelt wie die Beispiele Siemens NX/Teamcenter, Netfabb und 3yourmind zeigen. Zu guter Letzt müssen Regierungen, Interessensverbände, Forschungsinstitute und Universitäten gezielte Forschungsanreize setzen und die notwendigen Ressourcen bereitstellen.

Ganzheitlicher Ansatz vom Rohstoff über die Software bis zum fertigen Bauteil: Zwischen dem Status Quo und einer großflächigen additiven Fertigung im industriellen Maßstab stehen jedoch noch einige Entwicklungs- und Forschungsfragen. Zum Beispiel sind manche Metallpulver um den Faktor 10 teurer als das vergleichbare Vollmaterial.

Die eigene Rolle innerhalb des Ökosystems ...



➔ ... ist zu bestimmen.