

Factsheet Additive Fertigung

Additive Fertigung (AM für Additive Manufacturing) bezeichnet die Herstellung von Bauteilen durch Hinzufügen von Material – im Gegensatz zu konventionellen Verfahren, bei denen Werkzeuge die Bauteile aus Blockmaterial formen. Aktuell werden acht Verfahrensprinzipien zur Herstellung von Metallteilen, sieben für Kunststoffteile sowie weitere für Komposite und Keramiken eingesetzt. Im industriellen Kontext stehen für Metallteile vor allem pulverbett- oder pulverdüsenbasierte Verfahren im Vordergrund; im Kunststoffbereich kommen Pulver, Filamente und flüssige Photopolymere als Ausgangsmaterialien zur Anwendung.

Sämtlichen additiven Verfahren ist gemeinsam, dass eine Geometrie in einfacher fertigmachbare Teilelemente zerlegt wird, typischerweise – aber nicht zwingend – einzelne Schichten eines Bauteils. Eine Einzelschicht entspricht der 2D-Darstellung einer Geometrie mit konstanter Dicke. Sofern sich die Schichten durch einen geeigneten Prozess fertigen und mit der bereits gefertigten Struktur verbinden lassen, können so äusserst komplexe Geometrien entstehen.

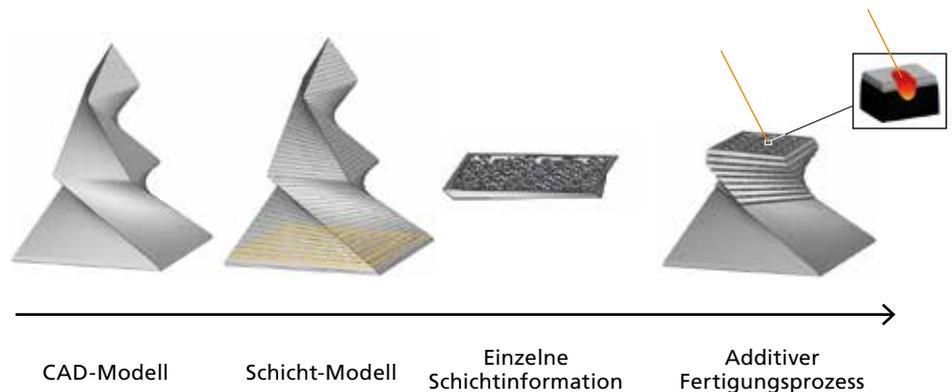


Abbildung 1

Schematische Darstellung der AM-Prozesskette am Beispiel des Laser-Strahlschmelzens. Dabei wird ein Pulvermaterial durch einen Laser lokal aufgeschmolzen und mit der bereits bestehenden Struktur verbunden [1]

Ein wesentliches Merkmal von AM ist, dass sich die Materialeigenschaften gleichzeitig mit der Entstehung der Geometrie während des Fertigungsprozesses ausbilden. Aus diesem Grund wird AM auch als Urformverfahren klassifiziert und die Materialkennwerte hängen von den spezifischen Prozessbedingungen ab.

Bedeutung für die Industrie

Die additive Fertigung ermöglicht grundsätzlich – aufgrund der potenziell hohen Bauteilkomplexität – die Leistungsfähigkeit eines Bauteils in der Anwendung zu steigern. Die Verfahren bergen daher ein sehr grosses Innovationspotenzial, das insbesondere für ein Hochlohnland wie die Schweiz von essenzieller Bedeutung ist. Abbildung 2 zeigt Bereiche, in denen AM gegenüber der konventionellen Fertigung wesentliche Vorteile bringen kann. Es verdeutlicht jedoch auch, dass AM für bestehende Komponenten, die für konventionelle Fertigungsverfahren designt wurden, ohne fundamentale Um-Konstruktion kaum einen Vorteil bringen werden.

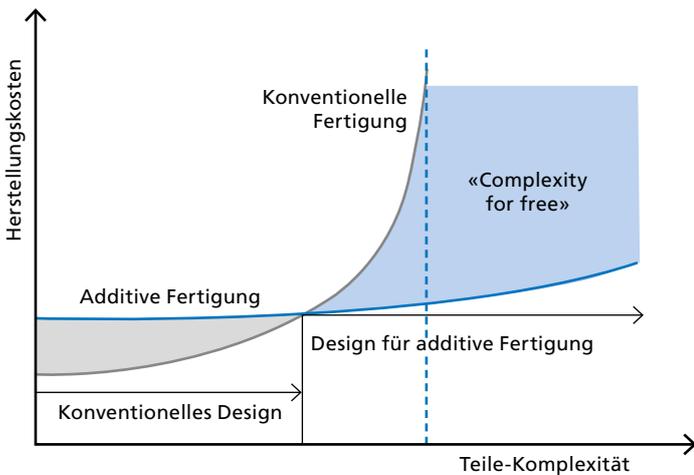


Abbildung 2

«Complexity for free»: Eignung additiver und konventioneller Fertigung in Abhängigkeit der Bauteilkomplexität [1]

AM birgt das Potenzial, etablierte Supply-Chain-Strukturen grundlegend zu verändern. Während heute oftmals von «local production, global supply chain» gesprochen wird, ermöglicht AM dieses Paradigma auf den Kopf zu stellen. AM-Bauteile können grundsätzlich überall auf der Welt produziert werden – werkzeuglos, exakt in der geforderten Stückzahl und in relativ kurzer Zeit. Ein typisches Anwendungsbeispiel dafür ist die additive Produktion von Ersatzteilen. Eine kostenintensive Lagerhaltung wird hinfällig, da nur noch CAD- und Prozess-Daten benötigt werden, um die geforderten Teile nach Bedarf kurzfristig zu fertigen.

Beispiele und Anwendungsfelder

Mit additiver Fertigung können äusserst komplexe Strukturen hergestellt werden, die in ihrer Anwendung ein hohes Potenzial zur Steigerung der Leistungsfähigkeit aufweisen. Abbildung 3 zeigt Beispiele industrieller metallischer Komponenten, die mittels «Laser Powder Bed Fusion» («Selective Laser Melting») gefertigt wurden. Typische Anwendungsbereiche sind – neben Anwendungen in praktisch allen industriellen Sektoren – Leicht-

bauanwendungen in Luft- und Raumfahrt, optimierte Temperatur-Kanäle in Werkzeugen oder Turbinenkomponenten mit optimierter Kühlung.



Abbildung 3

Beispiele industrieller AM-gefertigter Metallkomponenten. Oben links: Hoch-integriertes Düsensystem für Chip-Bonding-Anlagen [2], oben rechts: Düsensystem mit integriertem Kanalsystem für lokale Minder-mengen-Schmiermittelzufuhr für Fräsprozesse. Unten links: Additiv gefertigte Ventilblöcke (inspire), unten Mitte: Siemens-Turbinenschaufeln für Gasturbinen [3], unten rechts: Satelliten Antennen-Bracket in AlSi10Mg (RUAG Space, Switzerland) [4]

Für Kunststoffteile kommen je nach Typ unterschiedliche Verfahren zur Anwendung. Während mit Pulverbett-Verfahren («Selective Laser Sintering») vor allem kleine und mittlere Serien in Polyamid-basierten Materialien oder neuerdings auch in Polypropylen gefertigt werden (Abbildung 4), eignet sich die Stereolithographie sowie das MultiJet Printing insbesondere zur Herstellung von Bauteilen aus Photopolymeren.



Abbildung 4

Additiv gefertigte Kunststoffteile. Links: Früchteschale in PA12, Mitte: Serienfertigung von faserverstärkten PA12-Teilen, rechts: komplex geformtes Funktionsteil in Polypropylen iCoPP (Quelle: inspire).

FDM-Technologien (Fused Deposition Modeling) nehmen im Kunststoffbereich eine Sonderstellung ein. Dabei werden Bauteile aus Kunststoff-Filamenten hergestellt. Die Verfahren dringen vermehrt in den Home-Printing Bereich vor, finden aber – aufgrund der grossen Materialfreiheit und der Möglichkeit grössere Teile zu fertigen – auch zunehmende Anwendung im professionellen Bereich.

Restriktionen

Wie bei allen Fertigungstechnologien gelten auch für AM bedeutende Restriktionen.

- Überhängende Strukturelemente sind für viele additive Prozesse nur mit Supportstrukturen fertigbar. Die Entfernung dieser für das finale Bauteil nicht benötigten Strukturen bedarf teils intensive Nachbearbeitungen. Oft kann diesem Umstand aber bereits in der Design-Phase Rechnung getragen werden.
- Die Qualität der hergestellten Komponenten ist von vielen Einfluss- und Prozessgrößen abhängig. Das gestaltet die Qualifizierung eines AM-Bauteils aufwändig, insbesondere auch da umfassende Qualitätsmanagement-Systeme für AM heute erst in Entwicklung stehen.
- Kennwerte wie Festigkeit, Duktilität, Verschleiss oder Härte von AM-Komponenten weichen tendenziell von jenen konventionell verarbeiteter Materialien ab. Das liegt oft an mikrostrukturellen Unterschieden und Porosität, die von den gewählten Prozessbedingungen abhängen. Mit dem SLM-Prozess beispielsweise erreichen die mechanischen Eigenschaften der meisten verarbeitbaren Legierungen zumindest statisch vergleichbare Werte, die dynamisch-mechanischen fallen etwas geringer aus. Zudem zeigt sich ein gewisses anisotropes Materialverhalten relativ zur Aufbaurichtung der Bauteile.
- AM eignet sich heute in der Regel nicht für grosse Serien. Prozessbedingt und abhängig von den Bauteildimensionen liegen typische Losgrößen zwischen eins und einigen hundert bis tausend Komponenten. Für grössere Lose werden meist alternative Verfahren eingesetzt – obschon Fortschritte in der Produktivität AM zu anderen Verfahren konkurrenzfähiger macht (Abbildung 5).

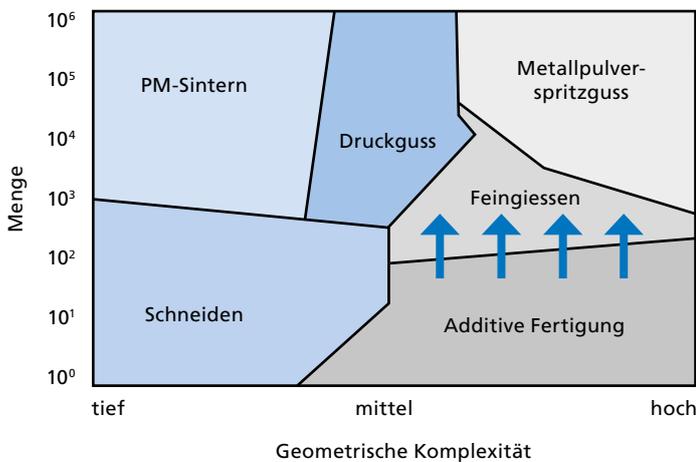


Abbildung 5

Eignung verschiedener Fertigungsverfahren metallischer Komponenten hinsichtlich Quantität und Bauteil-Komplexität. Mit additiver Fertigung werden immer höhere Stückzahlen möglich [1]

Bewertungskriterien für den erfolgreichen Einsatz

AM-Bauteile sind – im direkten Vergleich zu konventionell gefertigten – bedingt durch hohe Rohmaterialpreise und relativ geringe Aufbauraten in der Regel teurer. Abbildung 6 verdeutlicht jedoch, dass – wenn der Gesamtaufwand (Kosten, Energie) über die vollständige Lebensdauer eines Bauteils hinweg berücksichtigt wird – die Mehraufwände in der Herstellung oftmals überkompensiert werden.

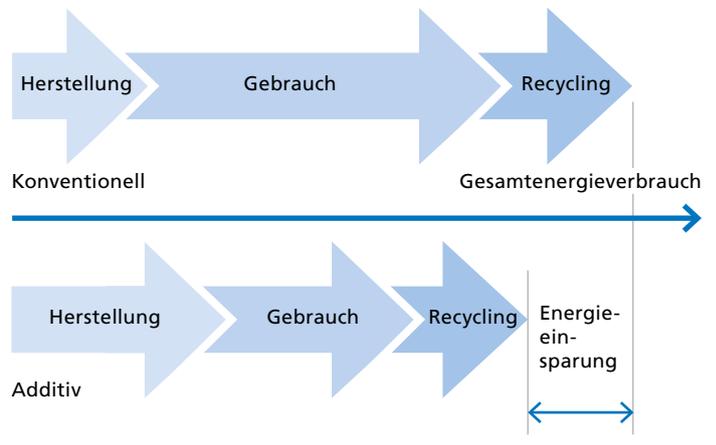


Abbildung 6

Vergleich des Gesamtaufwands (Kosten, Energie) über die vollständige Lebensdauer eines Bauteils zwischen konventioneller und additiver Fertigung.

- [1] Spierings AB. Powder spreadability and characterization of Sc- and Zr-modified Aluminium alloys processed by Selective Laser Melting - Quality Management System for additive manufacturing [Dissertation]. Zurich: ETH Zurich; 2018.
- [2] Meboldt M, Fontana F. Additive Fertigung in der industriellen Serienproduktion - ein Statusreport. In: Meboldt M, Fontana F, editors. Zurich: AM Network; 2016. p. 60.
- [3] Benzinger A. Breakthrough with 3D printed Gas Turbine Blades Berlin: Siemens; 2018 [cited 2018-06-18]. Available from: <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/additive-manufacturing-3d-printed-gas-turbine-blades.html>
- [4] Mouriaux F, Berkau A. Certified for Universal Success: Additive Manufacturing of Satellite Components. EOS, Krailling-Munich, Germany; 2016. p. 3.

Fazit

Aus obigen Betrachtungen geht hervor, dass additive Verfahren sowohl Vorteile aber auch Nachteile aufweisen. Die teilweise vertretene Meinung, dass additive Verfahren die etablierten klassischen Fertigungsverfahren gänzlich verdrängen werden, ist zumindest kurz- und mittelfristig nicht absehbar. Die AM-Verfahren eröffnen jedoch neue Potenziale – teils auch für komplett neue Anwendungen. Jeder Anwendungsfall muss auf seine Eignung bewertet werden. Nur wenn die Beurteilung im Sinne des in Abbildung 7 gegebenen Schemas positiv ausfällt, kann auch ein positiver Business Case entwickelt werden.

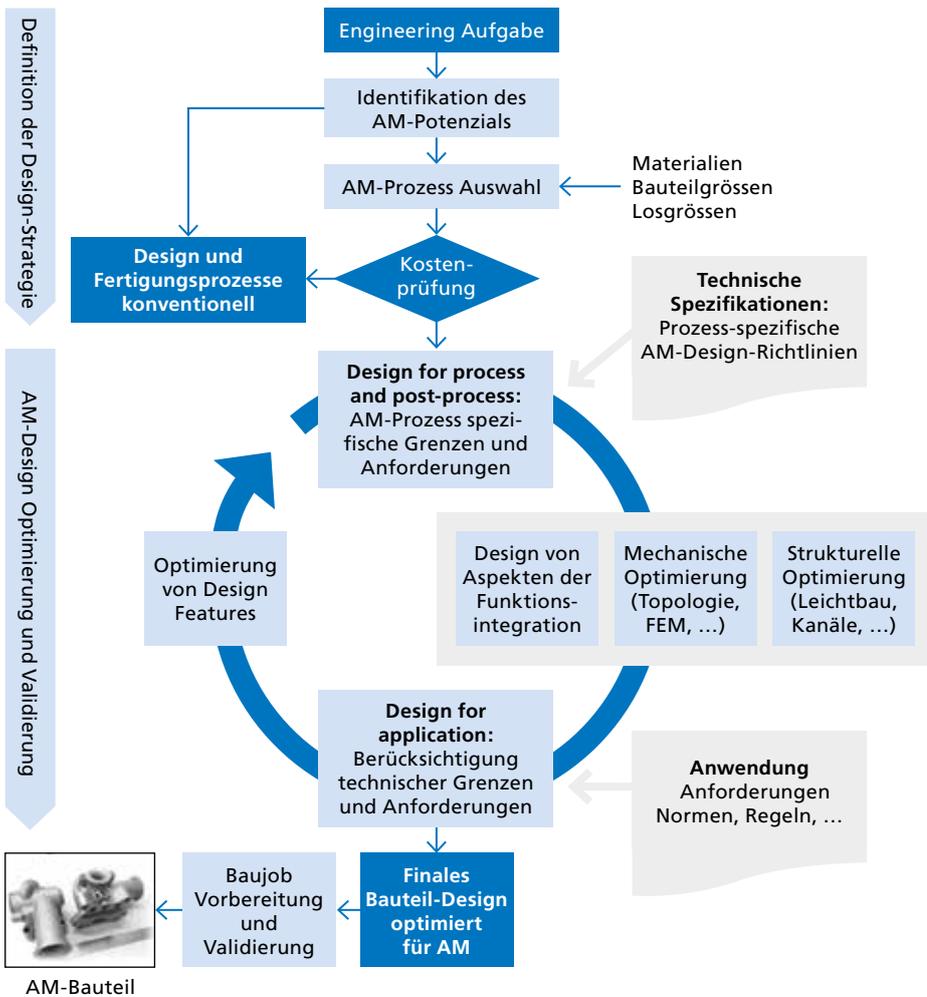


Abbildung 7

Generischer Design-Prozess für einen erfolgreichen Einsatz additiver Fertigung, ausgehend von der Identifikation des grundlegenden Potenzials, über die Auswahl eines geeigneten AM-Verfahrens sowie der Prüfung der Kostensituation. Erst wenn solche Fragen positiv im Sinne additiver Verfahren beantwortet werden können, macht die Um- oder Neu-Konstruktion einer Komponente für die additive Fertigung Sinn. (Quelle: Spierings, inspire)

Autoren: Dr. Adriaan B. Spierings und Prof. Pavel Hora
© SATW und inspire | Oktober 2018

