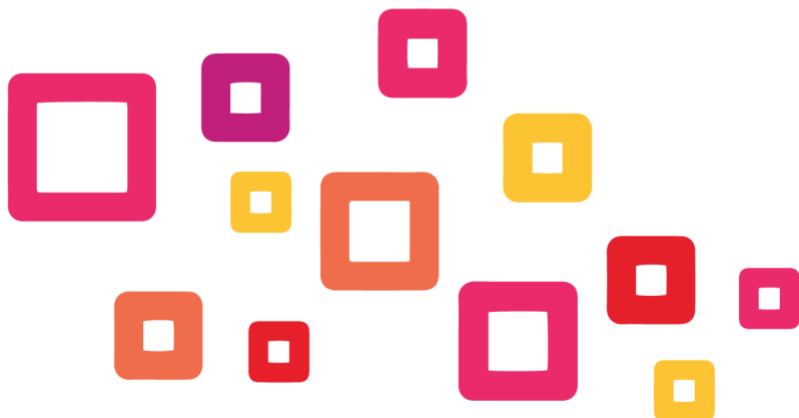


Cre@

UNIT 3

Industrie 4.0 - Additive Fertigung (AM) und 3D-Druck



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Lernziele	4
3.1 Grundkonzepte des AM- und 3D-Drucks	5
3.2 Additive Fertigung (AM): Prozesse, Materialien und Anwendungsbereiche.....	8
3.3 3D-Software für den 3D-Druck.....	17
3.4 Vor- und Nachteile von AM- und 3D-Druck in der Industrie 4.0	20
Literatur	24

Einleitung

Die jüngste industrielle Revolution, Industrie 4.0, umfasst intelligente Produktionssysteme, wie z.B. additive Fertigung (AM) und 3D-Druckprozesse. Diese Technologie gilt als eine wesentliche Komponente dieser industriellen Bewegung. Das zügige Entstehen von AM bedeutet, dass neue Kompetenzen erworben werden müssen, um sich an die digitalen Veränderungen anpassen zu können.

In dieser Einheit erhalten die Lernenden einen Überblick über additive Fertigung (AM) und den 3D-Druck. Sie werden mit den wichtigsten Konzepten in diesen Bereichen, ihren Anwendungen und den Auswirkungen auf Design und Herstellung im Zeitalter der Industrie 4.0 in Kontakt kommen. Dabei sollen die Lernenden das Wissen und das Selbstvertrauen erwerben, das sie benötigen, um diese Inhalte an ihre Studenten/Auszubildenden zu vermitteln und so ihr Bewusstsein und ihre Vorbereitung auf Karrieremöglichkeiten in den Bereichen AM- und 3D-Druck zu erhöhen.

Einheit 3 – Industrie 4.0 - Additive Fertigung (AM) und 3D-Druck - ist in 4 Untereinheiten unterteilt:

1. Grundkonzepte des AM- und 3D-Drucks;
2. AM: Prozesse, Materialien und Anwendungsbereiche;
3. Software für den 3D-Druck;
4. Vor- und Nachteile von AM und 3D-Druck in der Industrie 4.0.

Lernziele

Nach Abschluss dieser Einheit wird der Lernende in der Lage sein,...		
Wissen	Fertigkeiten	Verantwortung und Autonomie
<p>Grundlegende Kenntnisse von Additiver Fertigung und 3D-Druck in Industrie 4.0</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundkonzepte • Materialien • allgemeine Prozessphasen der additiven Fertigung (AM) • Resublimationsverfahren • Vorteile und Einschränkungen <p>Basiswissen von additiver Fertigung und 3D Druck in der Industrie 4.0</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung • Software • Hauptanwendungsbereiche 	<p>Die Konzepte des AM- und 3D-Drucks in der Industrie 4.0 erkennen.</p> <p>Erkennung der wichtigsten Materialien, die beim AM/3D-Druck verwendet werden, unter Berücksichtigung ihrer Eigenschaften und Anwendbarkeit - Metalle, Kunststoffe, Keramiken und Verbundwerkstoffe usw.</p> <p>Die wichtigsten Herausforderungen im Zusammenhang mit der Qualität der Materialien beim AM/3D-Druck zu kennen.</p> <p>Zusammenfassung der Schritte der AM-Prozessphasen: Vorbearbeitung, Bearbeitung und Nachbearbeitung</p> <p>Erläutern Sie die am häufigsten verwendeten Beschichtungs-/Druckverfahren beim AM/3D-Druck</p> <p>Erklären Sie die Vorteile und Grenzen des AM/3D-Drucks in der Industrie- 4.0-Ära im Vergleich zur traditionellen Fertigung</p> <p>Unterscheidung der in AM verfügbaren Hauptkomponenten in Hinblick auf Beschichtungsverfahren.</p> <p>Klassifizieren Sie AM/3D-Drucksoftware in Kategorien nach Aufgaben: Modellierung, Schneiden usw.</p> <p>Nutzen Sie die Tinkercad-Software, um Prototypen für den 3D-Druck zu entwerfen.</p> <p>Die Hauptanwendungsbereiche von AM in der Industrie 4.0 erkennen: Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Gesundheitswesen, Objekte des täglichen Lebens usw.</p>	<p>Das Bewusstsein der Auszubildenden über die potenzielle Verwendung der additiven Fertigung sowie des 3D-Drucks in den CC-Branchen zu stärken.</p> <p>3D-Druckprozess vorschlagen, um individuelle Objekte/Teile des täglichen Lebens zu erstellen.</p> <p>Besprechen Sie den 3D-Entwurf eines Objekts/Teils unter Berücksichtigung der Objekt/Teilapplikation.</p> <p>Verwenden Sie die 3D-Drucktechnologie, wenn sie gegenüber herkömmlichen Methoden einen Vorteil bietet.</p>

EXTERNAL RESOURCES: Computer, Computermaus, Tastatur, CAD (3D CAD Tool über Online Browser)

3.1 Grundkonzepte des AM- und 3D-Drucks

Die fortgeschrittene Fertigung ist heutzutage eine der wichtigsten Stützen der Industrie 4.0. Zu den verfügbaren fortschrittlichen Produktionstechnologien gehört der 3D-Druck, eine Technologie, die die Art und Weise, wie Objekte hergestellt werden, revolutioniert. Der Begriff 3D-Druck umfasst eine Vielzahl von Verfahren und Technologien, die ein breites Spektrum an Möglichkeiten für die Herstellung von Teilen und Produkten aus verschiedenen Materialien bietet.

Der 3D-Druck, der in vielen Fällen auch als additive Fertigung (AM) bezeichnet wird, verwendet computergestütztes Design (CAD), um Objekte durch schichtweises Hinzufügen von Materialien zu erzeugen. Somit bezieht sich der 3D-Druck auf jegliche Herstellungsverfahren, bei denen aus einer CAD-Datei (Bild 1) 3D-Teile über Materialschichten additiv hergestellt werden, das heißt ein digitales Modell wird durch schichtweises Hinzufügen von Material in ein physisches dreidimensionales Objekt verwandelt.

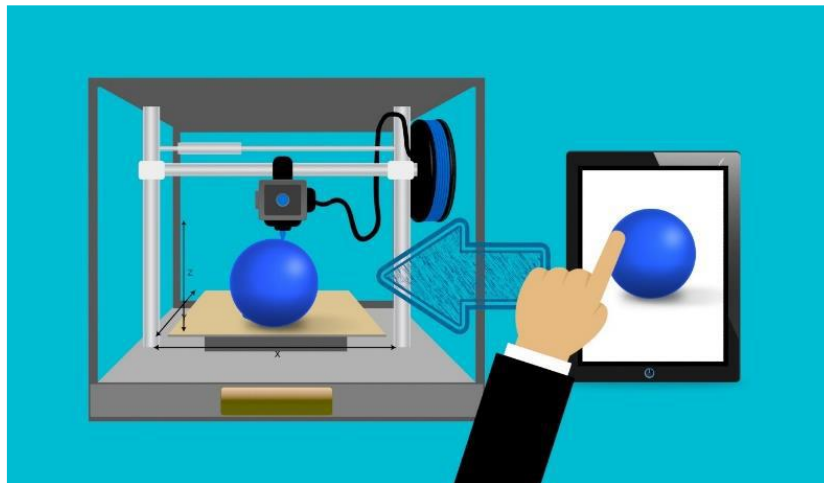


Abbildung 1 3D gedrucktes Bauteil aus einem CAD File

Die additive Fertigung unterscheidet sich von der traditionellen Fertigung, bei der Material von einem Block entfernt (oder subtrahiert) wird, bis die endgültige Form oder das Teil erreicht ist, was als subtrahierende Fertigung bezeichnet wird. Hersteller sehen AM in vielen Fällen, in denen gegenwärtig CNC-Bearbeitung oder andere Technologien wie Spritzguss oder Feinguss eingesetzt werden, als eine brauchbare Alternative.

Beim 3D-Druck sind keine speziellen Werkzeuge erforderlich (z.B. ein Schneidewerkzeug mit bestimmter Geometrie oder eine Form). Stattdessen wird das Teil direkt auf der gebauten Plattform Schicht für Schicht hergestellt, was zu einer einzigartigen Reihe von Vorteilen (und einigen Einschränkungen) führt.

In den meisten AM-Prozessen werden diese Schritte durchlaufen:

1. Nehmen Sie ein 3D-CAD-Modell;
2. Schneiden Sie das Modell in Schichten auf und generieren Sie den Computercode;
3. Drucken Sie den ersten 2D-Schnitt und die Stützen (falls erforderlich);
4. Höhe schrittweise erhöhen;
5. Nächste Ebene drucken;

6. Wiederholen Sie die Schritte 4 und 5, bis Sie fertig sind;
7. Nachbearbeitung (falls erforderlich).

Was ist additive Fertigung?

https://www.youtube.com/watch?time_continue=78&v=kKQ5KwFwW_s&feature=emb_logo

Die Arbeitsweise eines 3D-Druckers variiert je nach Prozess. Einige schmelzen beispielsweise Kunststofffäden und legen sie durch eine Düse (Bild 2) auf die Druckplattform, wie eine hochpräzise, computergesteuerte Klebepistole. Andere, wie z.B. große Industriemaschinen, können einen Laser verwenden, um dünne Schichten von Materialpulvern zu schmelzen (oder zu sintern).



Abbildung 2 3D Druck von einem Polymer-Teil

Allerdings sind 3D-Druckteile selten einsatzbereit, wenn sie aus der Maschine kommen. Sie erfordern oft eine gewisse Nachbearbeitung, um die gewünschte Qualität der Oberfläche zu erreichen. So können die Teile z.B. mit Chemikalien poliert oder geglättet werden (Bild 3), durch Strahlung oder Trommeln bearbeitet werden, um Schichten zu entfernen. Diese Schritte erfordern zusätzliche Zeit und in der Regel manuellen Aufwand.



Abbildung 3 3D gedrucktes Objekt vor und nach der Nachbearbeitung

Die zur Verfügung stehenden Materialien variieren auch je nach Verfahren. Am häufigsten werden Kunststoffe verwendet (Bild 4), aber auch andere Materialien, wie z.B. Metalle, haben heutzutage eine wichtige Präsenz in der 3D-Druckindustrie eingenommen. Die produzierten Bauteile können auch eine breite Palette spezifischer physikalischer Eigenschaften aufweisen, die von technisch klaren bis hin zu gummiartigen Objekten variieren.

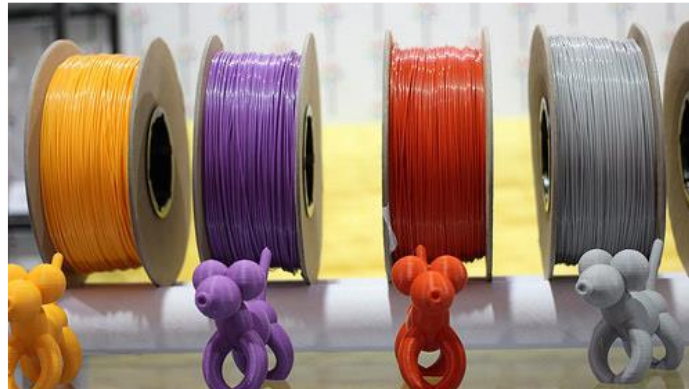


Abbildung 4 Viele Materialien finden im 3D-Druck Anwendung

Die Anwendungsmöglichkeiten des 3D-Drucks erweitern sich beinahe täglich, weshalb sich diese Technologie immer weiter und stärker in den Industrie- und Verbrauchersektoren etabliert: Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Energie, Werkzeugbau, Gesundheitswesen, Bildung usw. (Bild 5).



Abbildung 5 Teile der Fahrzeugtechnik hergestellt über 3D-Druckverfahren

Der 3D-Druck hat heutzutage eine sehr spezifische Rolle in der Fertigungsindustrie gefunden. Die gestiegenen Erwartungen der vergangenen Jahre haben ihren Platz in einer gesteigerten Produktivität gefunden. Viele Aspekte der Technologie sind heute allgemein bekannt und werden sowohl von Profis als auch von Hobby-Bastler übernommen.

Der 3D-Druck hätte das Potenzial, neue Industrien und völlig neue Berufe zu schaffen, wie zum Beispiel solche, die mit der Herstellung von 3D-Druckern und 3D-Teilen verbunden sind. Es besteht die Möglichkeit für professionelle Dienstleistungen rund um den 3D-Druck, die von neuen Formen von Produktdesignern, Druckern, Materiallieferanten bis hin zu Rechtsstreitigkeiten und Vergleichen über geistiges Eigentum reichen.

Der Einsatz der 3D-Drucktechnologie hat potenzielle Auswirkungen auf die globale Wirtschaft, wenn sie weltweit eingesetzt wird. Die Verlagerung der Produktion und des Vertriebs vom gegenwärtigen Produktionsmodell zu einer lokalisierten Produktion auf der Grundlage eines maßgeschneiderten Modells vor Ort könnte das Ungleichgewicht zwischen Export- und Importländern potenziell verringern.

3.2 Additive Fertigung (AM): Prozesse, Materialien und Anwendungsbereiche

3.1 Additive Fertigungsprozesse (AM Prozesse)

Es gibt viele Arten von AM-Prozessen, die alle ihre Stärken und Kapazitäten haben, jeweils mit spezifischen Anwendungsbereichen. Die Norm ISO/ASTM 52900:2015 definiert die Technologie der Additiven Fertigung, kategorisiert sie in sieben Einzelprozesse und legt die verwendeten Begrifflichkeiten fest. Obwohl es sieben klar definierte Kategorien gibt, existieren innerhalb der Kategorien viele Überschneidungen mit anderen Verfahren. Der Hauptnenner ist die Fertigung von physikalischen 3D-Geometrien durch schichtweise Addition von Material. Die Hauptunterschiede bestehen innerhalb der Verwendung der Materialien, der Methoden der Schichtauftragung und der Art der Haftung zwischen ihnen. Die sieben AM-Prozesse sind in Bild 6 dargestellt.

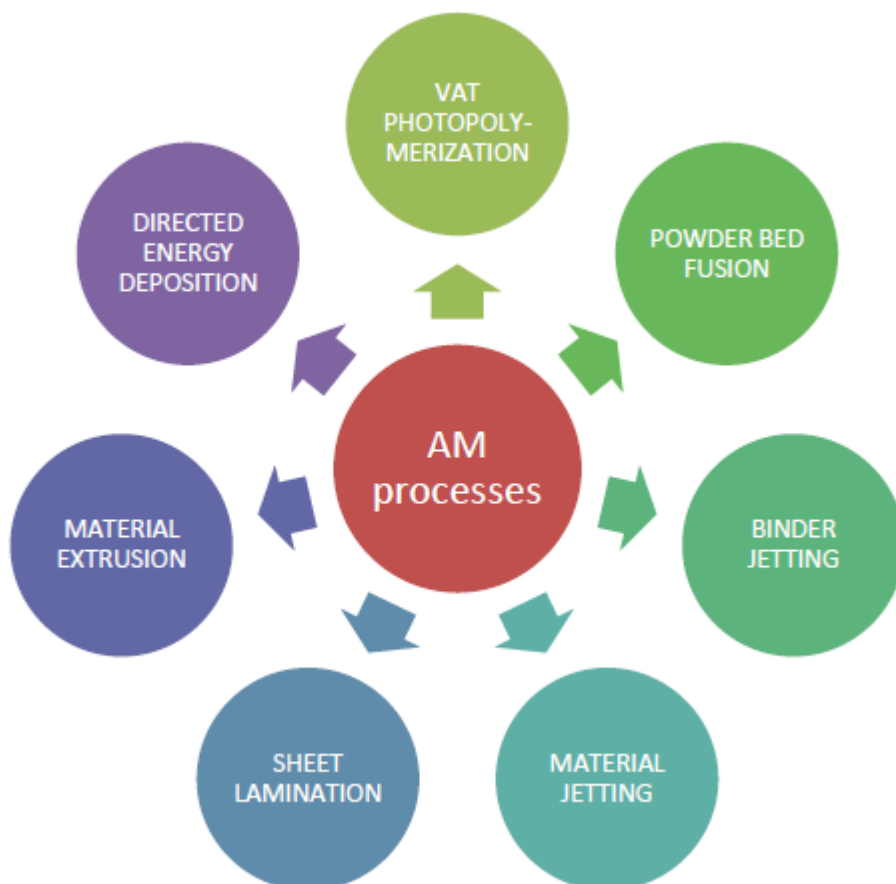


Abbildung 6 AM Prozesse im industriellen Bereich

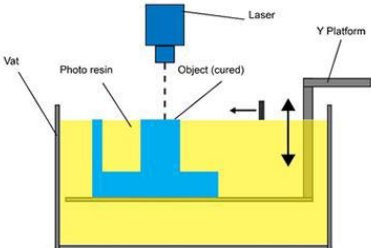
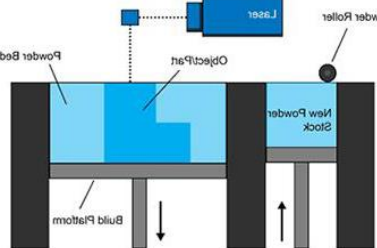
Youtube-Videos:

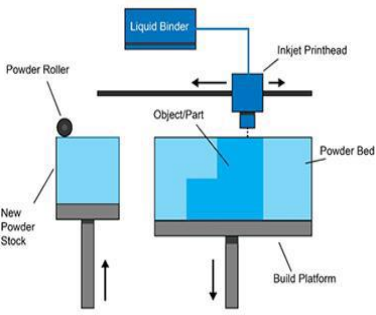
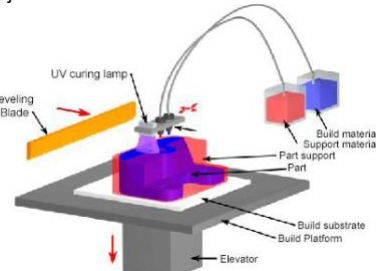
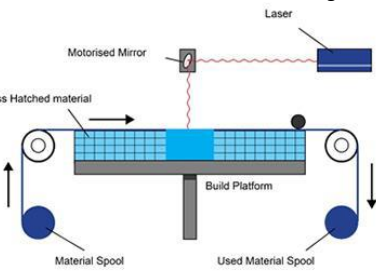
VAT Polymerisation: <https://www.youtube.com/watch?v=g3OUWihMWIQ>

Power bed fusion: https://www.youtube.com/watch?v=T9LRNyK_0Yk

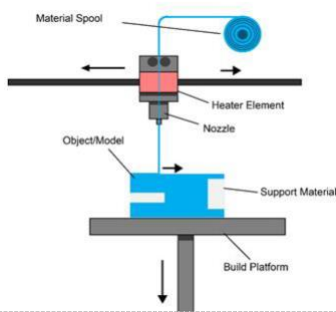
Material extrusion: <https://www.youtube.com/watch?v=x4ibQI1M1K0>

In den letzten Jahrzehnten hat sich der Schwerpunkt des 3D-Drucks von der Herstellung von Prototypen aus Harzbehältern und Pulverbetten auf die Herstellung von Produktionsteilen aus Metall und Keramik verlagert. Tabelle 1 zeigt eine detaillierte Beschreibung der wichtigsten AM-Prozesse, die bereits zuvor dargestellt wurden. In derselben Tabelle sind auch andere Bezeichnungen für jede Prozesskategorien angegeben (viele davon sind Warenzeichen).

Prozesse	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
<p>VAT PHOTOPOLYMERIZATION</p> <p>SLA™- Stereolithography Apparatus DLP™- Digital Light Processing 3SP™- Scan, Spin, and Selectively Photocure CLIP™ - Continuous Liquid Interface Production</p> 	<p>Bei der Küpenpolymerisation wird eine Wanne mit flüssigem Photopolymerharz verwendet, aus der das Modell Schicht für Schicht aufgebaut wird. Das Harz wird mit ultraviolettem (UV) Licht ausgehärtet, während eine Plattform das hergestellte Objekt nach jeder neuen Schicht nach unten bewegt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Grad an Genauigkeit und Komplexität • Gute Oberflächen-genauigkeit • Besitzt große Baudimensionen • Relativ schneller Prozess 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ teuer • lange Nachbearbeitungszeit und Entfernung aus dem Harz • Begrenzte Materialverwendung von Fotoharzen • Erfordert oft Stützstrukturen und Nachhärtung, damit die Teile stark genug sind
<p>POWDER BED FUSION</p> <p>SLS™- Selective Laser Sintering DMLS™- Direct Metal Laser Sintering SLM™- Selective Laser Melting EBM™- Electron Beam Melting SHS™- Selective Heat Sintering MJF™- Multi-Jet Fusion</p> 	<p>Pulverförmige Materialien werden selektiv verfestigt, indem sie unter Verwendung einer Wärmequelle, wie einem Laser- oder Elektronenstrahl aufgeschmolzen werden. Bei allen PBF-Verfahren wird das Pulvermaterial über die vorhergehenden Schichten verteilt. Bei diesem Verfahren wird das Pulver Schicht für Schicht gesintert/aufgeschmolzen. Die Schichten werden mit einer Walze zwischen den verschmelzenden Schichten hinzugefügt. Eine Plattform</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Grad an Komplexität • Pulver dient als Trägermaterial • Große Auswahl an Materialien • Je nach Material können Strukturteile hergestellt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ langsame Geschwindigkeit • Größen-beschränkungen • Hoher Stromverbrauch • Die Oberfläche ist abhängig von der Pulverkorngröße

	<p>senkt das Modell entsprechend ab.</p>		
<p>Binder Jetting 3DP™- 3D Printing ExOne Voxeljet</p> 	<p>Es wird ein Material auf Pulverbasis und ein Bindemittel verwendet. Das Bindemittel wirkt als Klebstoff zwischen den Pulverschichten. Ein Druckkopf bewegt sich horizontal und legt abwechselnd Schichten des Baustoffs und des Bindematerials ab. Nach jeder Schicht wird das zu druckende Objekt auf seiner Bauplattform abgesenkt. Die Teile werden nach dem Drucken üblicherweise in einem Ofen erhitzt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht den Vollfarbdruck • Schnelleres Verfahren • Verwendet eine breite Palette von Materialien 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht immer geeignet für Strukturteile, aufgrund der Verwendung von Bindematerial • Zusätzliche Nachbearbeitung kann den Gesamtprozess erheblich entschleunigen.
<p>Material Ausspritzen olyjet™ SCP™- Smooth Curvatures Printing MJM - Multi-Jet Modeling Projet™</p> 	<p>Das Material wird in Tropfenform auf die gebaute Oberfläche oder Plattform gespritzt, wo es erstarrt und das Modell schichtweise aufgebaut wird. Das Material wird aus einer Düse, die sich horizontal über die Bauplattform bewegt, ausgeschieden. Die Materialschichten werden dann mit ultraviolettem (UV) Licht ausgehärtet oder gehärtet.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Grad an Genauigkeit • Ermöglicht Vollfarbteile • Ermöglicht mehrere Materialien in einem einzigen Teil 	<ul style="list-style-type: none"> • Häufig wird Unterstützungsmaterial benötigt • Eine hohe Genauigkeit kann erreicht werden, aber die verwendbaren Materialien sind begrenzt.
<p>BLATTLAMINIERUNG LOM - Laminated Object Manufacture SDL - Selective Deposition Lamination UAM - Ultrasonic Additive Manufacturing</p> 	<p>Materialplatten werden zusammen gestapelt und zu einem Objekt laminiert. Die Laminiierung kann mit Klebstoffen oder chemischer Bindung (Papier/Kunststoff), Ultraschallschweißen oder Hartlöten (Metalle) erfolgen. Nicht benötigte Bereiche werden in der Regel schichtweise geschnitten und nach dem Bau des Objekts entfernt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe volumetrische Aufbauraten • Relativ niedrige Kosten (Nichtmetalle) • Erlaubt die Kombination von Metallfolien, • einschließlich Einbettkomponenten 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Oberflächen können je nach Material variieren, erfordern aber möglicherweise eine Nachbearbeitung, um den gewünschten Effekt zu erzielen. • Begrenzter Materialeinsatz
<p>EXTRUSIONSMATERIAL FFF - Fused Filament Fabrication</p>	<p>Das Material wird durch eine Düse oder eine Öffnung in Bahnen oder Kügelchen extrudiert, wo es erwärmt und dann zu Produkten wie Mehrschichtmodellen kombiniert wird. Gängige Varianten sind die beheizte thermoplastische Extrusion</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kostengünstig und wirtschaftlich • Ermöglicht mehrere Farben • Kann in einer Büroumgebung verwendet werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Düsenradius ist begrenzt und reduziert die Endqualität • Genauigkeit und Geschwindigkeit sind im Vergleich zu anderen Verfahren gering • Zur Qualitätssteigerung ist

FDM™ - Fused Deposition Modeling



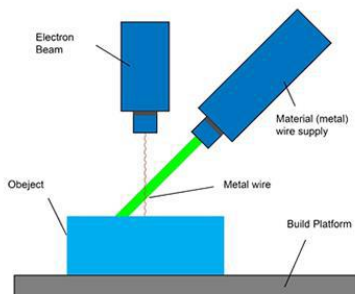
(ähnlich einer Heißklebepistole) und die Spritzenabgabe. Es ist eine häufig verwendete Technik für Haushalts- und Hobby-3D-Drucker.

- Teile haben gute strukturelle Eigenschaften

ein konstanter Druck des Materials erforderlich

GERICHTETE ENERGIEABGABE

- LMD - Laser Metal Deposition
- LENS™ - Laser Engineered Net Shaping
- DMD™ - Direct Metal Deposition
- WAAM™ - Wire-arc Additive Manufacturing



Das eingespritzte Pulver oder der Draht wird in ein Schmelzbad geleitet, das auf der Oberfläche des Teils erzeugt wurde, wo der Draht an dem darunter liegenden Teil oder den darunter liegenden Schichten haftet. Durch die Verwendung einer Energiequelle, wie z.B. eines Lasers, eines elektrischen Lichtbogens oder eines Elektronenstrahls wird das Schmelzbad erzeugt. Dies ist im Wesentlichen eine Form des automatisierten Auftragschweißens.

- Nicht durch Richtung oder Achse begrenzt, in der Lage, große Teile zu produzieren
- Effektiv für Reparaturen und das Hinzufügen von Funktionen, aber auch für die Erstellung neuer Teile
- Mehrere Materialien in einem einzigen Teil
- Höchste Einzelpunkt-Abscheidungsrate

• Die Oberflächenqualität kann variieren, erfordert aber in der Regel eine maschinelle Nachbearbeitung und andere Nachbearbeitungen, um die erforderlichen Merkmale zu erreichen.

3.2.2 Additive Fertigungsmaterialien

Die für den AM- und 3D-Druck verfügbaren Materialien haben seit den Anfängen dieser Technologie einen langen Weg zurückgelegt. Es gibt heute eine Vielzahl verschiedener Materialtypen, die in verschiedenen Zuständen erhältlich sind (Pulver, Filament, Draht, Pellets, Granulat, Harz usw.).

Spezifische Materialien werden heute im Allgemeinen für bestimmte Plattformen entwickelt, die die auf spezielle Anwendungen mit Materialeigenschaften abgestimmt sind. Jedes 3D-Druckverfahren ist mit verschiedenen Materialien kompatibel. Kunststoffe (sowohl Thermoplaste als auch Duroplaste) und Metalle sind bei weitem am häufigsten verwendet, gefolgt von Keramiken (Bild 7).



VAT PHOTOPOLYMERIZATION	• UV-curable Photopolymer Resins (with various fillers)
POWDER BED FUSION	• Plastics, Metal and Ceramic Powders, and Sand
BINDER JETTING	• Powdered Plastic, Metal, Ceramics, Glass, and Sand.
MATERIAL JETTING	• Photopolymers, Polymers, Waxes
SHEET LAMINATION	• Paper, Plastic Sheets, and Metal Foils/Tapes
MATERIAL EXTRUSION	• Thermoplastic Filaments and Pellets (FFF), Liquids, and Slurries (Syringe Types)
DIRECTED ENERGY DEPOSITION	• Metal Wire and Powder, Ceramics

Abbildung 7 Typische 3D Druck Materialien

Polymere und Metalle, die heute im 3D-Druck verwendet werden, sind in der folgenden Tabelle detailliert aufgeführt.

AM Materials - 3D Printing's Greatest Challenge:

<https://www.youtube.com/watch?v=TRNWyoKOLvM>

Materialart	Beschreibung
<p>POLYMERE</p> 	<p>Für den 3D-Druck können übliche Kunststoffe, einschließlich ABS und PC, verwendet werden. Die üblichen Strukturpolymere können ebenfalls verwendet werden, ebenso wie eine Reihe von Wachsen und Harzen auf Epoxidbasis. Durch das Mischen verschiedener Polymerpulver kann eine breite Palette von strukturellen und ästhetischen Materialien hergestellt werden. Die folgenden Polymere werden normalerweise verwendet: ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol), PLA (Polylactid), einschließlich weiches PLA, PC (Polycarbonat), Polyamid (Nylon), Nylon 12 (Zugfestigkeit 45 MPa), glasgefülltes Nylon (Zugfestigkeit 12,48 MPa), Epoxidharz, Photopolymerharze.</p>
<p>METALLE</p> 	<p>Eine wachsende Anzahl von Metallen und Metallverbundstoffen wird für den 3D-Druck in Industriequalität verwendet. Eine Reihe von Metallen kann verwendet werden, einschließlich einer Reihe von Legierungen, die sich für strukturelle und integrale Bauteile eignen. Häufig verwendete Metalle sind: Rostfreier Stahl (Zugfestigkeit: 1150 MPa), martensitaushärtender Stahl (Zugfestigkeit 1100 MPa), Titanlegierung Ti6Al4V (Zugfestigkeit 1150 MPa), Kobalt-Chrom-Legierung Co28Cr6Mo (Zugfestigkeit 1300 MPa), Aluminiumlegierung AlSi10Mg (Zugfestigkeit 445 MPa), Gold und Silber.</p>

3.2.3 Additive Fertigungsmaterialien

Als die Fortschritte der additiven Fertigung begannen, dachte niemand daran, dass diese Technologie die Branche in solchem Ausmaß revolutionieren könnte. Der Hauptgrund für ihre Entstehung war zwar die Beschleunigung der schnellen Prototypenherstellung, aber im Laufe der Jahre hat sie sich weiter entwickelt. Sie bringt den verschiedenen Sektoren große Vorteile, wie reduzierten Materialeinsatz, niedrigere Kosten und Beschleunigung der Produktion.

Im Zuge der Entwicklung des 3D-Drucks ist die Zahl der Unternehmen, die die AM-Technologie einsetzen, rapide angestiegen. Der 3D-Druck ist effizient, in hohem Maße anpassbar und hat potenzielle Anwendungen in einer Vielzahl von Branchen. Die Anwendungen und Anwendungsfälle sind in diesen Branchen unterschiedlich und die potenziellen Sektoren für den 3D-Druck nehmen täglich zu (Bild 8)



Abbildung 8 Beispiele von Bereichen wo AM verwendet wird

Der nachfolgende Inhalt beleuchtet einige Beispiele für die wichtigsten Bereiche, in denen AM in den letzten Jahren erfolgreich eingeführt wurde.

Luft- und Raumfahrt & Verteidigung



Luft- und Raumfahrtunternehmen gehörten zu den ersten, die die additive Fertigung eingeführt haben. In diesem Bereich gibt es einige der strengsten Industriestandards, bei denen die Teile unter rauen Bedingungen standhalten müssen. Ingenieure, die für zivile und militärische Plattformen der Luft- und Raumfahrt konstruieren und fertigen, benötigen flugfähige Komponenten aus Hochleistungswerkstoffen. Der 3D-Druck liefert komplexe, verstärkte Teile mit hoher Festigkeit. Weniger Material und verbesserte Konstruktionen führen zu einer allgemeinen Gewichtsreduzierung - einer der wichtigsten Faktoren bei der Fertigung für die Luft- und Raumfahrt. Die Vorteile der additiven Fertigung für große Unternehmen und Organisationen treiben die innovativen Designs und Anwendungen für die Welt der Luftfahrt weiter voran. Der 3D-Druck für die Luft- und Raumfahrt ist nicht auf Prototypen beschränkt. Auch reale, funktionale Teile werden in 3D gedruckt und in Flugzeugen verwendet. Einige Beispiele für Teile, die mit dem 3D-Druck hergestellt werden können, sind Luftkanäle (SLS), Wandpaneele (FDM) und sogar

strukturelle Metallkomponenten (LMD, DMD, WAAM), wie z.B. Turbine, Triebwerk, Flügel, Rumpf und Ersatzteile.

<https://www.youtube.com/watch?v=Rv8vR9Xu804>



Automobilindustrie und Transport

Ein Leben auf der Überholspur bedeutet Ausdauer in rauen Umgebungen wie extremen Geschwindigkeiten und Hitze. Die Transportindustrie benötigt Teile, die strengen Tests standhalten und ausreichend leicht sind, um unnötigen Widerstand zu vermeiden. Mit einem breiten Spektrum an robusten Hochtemperaturmaterialien und additiven

Fertigungstechnologien sowie der Fähigkeit, sehr komplexe Geometrien zu bauen, kratzen Transportunternehmen nur an der Oberfläche dessen, was für ihre Fahrzeuge additiv hergestellt werden kann. Zu den Anwendungen, die die Branche verändert haben, gehören komplexe Rohrleitungen, die mit herkömmlichen Fertigungsmethoden nicht hergestellt werden können, elastische Prototypen, Elastomermodelle, Kühlergrills, kundenspezifische Innenausstattungen und große Verkleidungen, Motor- und Fahrwerkskomponenten, Gussformen, Vorrichtungen und Zubehör. Eine der aufregendsten Anwendungen, die heute realisiert wird, ist die Möglichkeit, Teile für den Ersatzteilmarkt zur Restaurierung von Oldtimern zu reproduzieren. Während der Prototypenbau derzeit noch die Hauptanwendung des 3D-Drucks in der Automobilindustrie ist, finden Unternehmen zunehmend andere Anwendungsfälle, wie z.B. den Werkzeugbau. Darüber hinaus beginnen die verschiedenen Automobilunternehmen, innovative Endanwendungen für den 3D-Druck zu finden, was eine aufregende Entwicklung für den Sektor signalisiert.



Gesundheitsfürsorge (medizinisch und zahnmedizinisch)

Die sich schnell entwickelnde medizinische Industrie nutzt additive Fertigungslösungen, um Ärzten, Patienten und Forschungseinrichtungen einen Durchbruch zu ermöglichen. Medizinische Hersteller nutzen die breite Palette an hochgradig widerstandsfähigen und biokompatiblen 3D-Druckmaterialien, von starr bis flexibel und von deckend bis transparent, um Designs individuell, wie noch nie zuvor zu gestalten. Von funktionalen

Prototypen und lebensgetreuen anatomischen Modellen bis hin zu Komponenten in chirurgischer Qualität öffnet die additive Fertigung die Tür zu unvorhergesehenen Fortschritten bei lebensrettenden Geräten, wie z.B. orthopädischen Geräten, zahnmedizinischen Geräten, Modellen für die OP-Vorbereitung aus CT-Scans, kundenspezifischen Säge- und Bohrschablonen, Werkzeugen, Gehäusen und speziellen chirurgischen Instrumenten. Gegenwärtig wird geschätzt, dass der medizinische und zahnärztliche Sektor 11% des gesamten Marktes für additive Fertigung ausmacht. Die Hauptstärke des 3D-Drucks für diesen Sektor ist seine Fähigkeit, ein stärker personalisiertes Produkt zu bieten, sowie Möglichkeiten zur Verbesserung der präoperativen Planung und zur Förderung der Innovation von Geräten.

Metal 3D printing for medical applications: <https://www.youtube.com/watch?v=latqZ4UKtIA>



Energie

Der Erfolg im Energiesektor hängt von der Fähigkeit ab, schnell maßgeschneiderte, einsatzkritische Komponenten zu entwickeln, die extremen Bedingungen standhalten können. Die Fortschritte der Additiven Fertigung bei der Herstellung effizienter, bedarfsorientierter, leichtgewichtiger Komponenten und umweltfreundlicher Materialien bietet Antworten auf unterschiedliche Anforderungen und

Feldfunktionen. Zu den wichtigsten Anwendungen, die aus der Gas-, Öl- und Energieindustrie hervorgegangen sind, gehören Turbinenteile, wie z.B. Rotoren, Statoren und Düsen, Komponenten und Modelle von Bohrwerkzeugen, Fluid-/Wasser-Strömungsanalysen, Teile von Durchflussmessern, Motorenmodelle für Spülung, Manometerstücke, Steuerventilkomponenten, Pumpenverteiler und Komponenten für schwimmende Plattformen. Bei der Entwicklung von korrosionsbeständigen Metallmaterialien für kundenspezifische Teile, die unter Wasser oder in anderen rauen Umgebungen eingesetzt werden müssen, ist nicht abzusehen, was große Energieunternehmen mit der additiven Fertigung erreichen können.



Industrie (Maschinen und Werkzeuge)

Der Industriesektor umfasst die Herstellung von Maschinenkomponenten, Werkzeugen und Ausrüstungen, die bei der Herstellung anderer Güter verwendet werden. Angesichts steigender Produktionskosten und der Digitalisierung der Fertigung müssen sich die industriellen Erstausrüster ständig weiterentwickeln, um die betriebliche Agilität zu erhalten und die Kosten niedrig zu halten. Die Hersteller wenden sich daher zunehmend

dem 3D-Druck zu, um flexibel, reaktionsfähig und innovativ zu bleiben. Die Entwicklung neuer 3D-Druckmaterialien mit hoher Hitzebeständigkeit und Steifigkeit, kombiniert mit der Fähigkeit, schnell und kostengünstig kundenspezifische Teile zu erstellen, hat den 3D-Druck dazu veranlasst, vielfältige Anwendungen im Bereich der industriellen Werkzeugherstellung zu finden. Die Möglichkeit des 3D-Drucks von Fertigungshilfsmitteln, wie z.B. Montagevorrichtungen, Lehren, Führungen, Vorrichtungen und Ersatzteilen, eröffnet den Herstellern von Industriegütern eine neue Bandbreite an Möglichkeiten. Zusätzlich zu Vorrichtungen revolutioniert der 3D-Druck die Herstellung von harten Werkzeugen wie Formen, die beim Spritzgießen und Druckguss verwendet werden. Jetzt können 3D-Drucktechnologien aus Metall wie DMLS oder SLM verwendet werden, was den Werkzeugherstellern nicht nur die Reduzierung des Materialabfalls ermöglicht, sondern auch zur Verbesserung der Funktionalität einer Form beiträgt. Dies kann durch die Integration komplexerer Kühlkanäle in das Design erreicht werden, wodurch die Kühleigenschaften einer Form erheblich verbessert werden.

3D Printing for machinery and production lines: <https://www.youtube.com/watch?v=4PKv0vP6t-Q>



Konsumgüter

Für Designer, Grafiker und Marketing-Teams ist die Zeit, die es braucht, um eine Idee zu formen und auf den Markt zu bringen, alles. Ein Teil dieser Zeit ist die Simulation des Aussehens und des Gefühls des Endprodukts während der Designprüfungen, um die Ideen den wichtigsten Beteiligten zu beweisen. Die Hersteller von Konsumgütern haben den 3D-Druck eingeführt, um die Entwicklung von Iterationen zu erleichtern und

das Design schnell anzupassen. Der 3D-Druck eignet sich hervorragend für die Herstellung detaillierter Unterhaltungselektronik in einem frühen Stadium des Produktentwicklungszyklus mit realistischer Ästhetik und Funktionalität. Sportartikel haben von frühen Iterationen profitiert, die schnell und mit feinen Details geliefert werden. Andere erfolgreiche Anwendungen umfassen Unterhaltungsrequisiten und -kostüme, leichte Modelle und Sets sowie fein detaillierte Architekturmodelle. Da die 3D-Drucktechnologie in Bezug auf Geschwindigkeit und Bauvolumen immer weiter voranschreitet, werden sich möglicherweise immer mehr Verbraucherprodukte für ihre Anforderungen an große Mengen der additiven Fertigung zuwenden. Im Vergleich zu bahnbrechenden Branchen wie der Luft- und Raumfahrt und der Medizin ist die Einführung der additiven Fertigung in der Konsumgüterindustrie noch relativ jung. Die Vorteile einer stärkeren Kundenanpassung, einer schnelleren Markteinführung und der Produktentwicklung werden jedoch zunehmend von der Branche anerkannt. Eine neue Gestaltungsfreiheit für die Kreativindustrie, einschließlich Architektur, Schmuck und Unterhaltung, wo hochkomplexe und maßgeschneiderte Produkte benötigt werden. Lebendige Scharniere, ineinander greifende Teile, dünnwandige und hohle Objekte sind für kundenspezifische Stücke möglich. Metalle können mit einer Reihe von Verfahren für einen maximalen visuellen Effekt veredelt werden.

Future applications of AM: <https://www.youtube.com/watch?v=hr-TDtwMNvk>

3.3 3D-Software für den 3D-Druck

Für jede Phase des 3D-Druck-Workflows ist ein spezielles Software-Tool erforderlich, um von der CAD-Datei zum realen Druckobjekt zu gelangen (Bild 9).



Abbildung 9 3D Druck Arbeitsprozess

Der Arbeitsablauf für den 3D-Druck besteht in der Regel aus vier Haupttypen von Programmen, die ihre Arbeit in Serie erledigen und den 3D-Druck ermöglichen:

- **3D-Design-Software** - Entwurf von 3D-CAD-Modellen am Computer;

Die CAD-Software ist ein wichtiges Werkzeug für Architekten, Ingenieure, Animatoren und Grafikdesigner. Ein CAD-Modell enthält Daten wie Materialeigenschaften, Abmessungen, Toleranzen und fertigungstechnische Informationen. Darüber hinaus bieten viele CAD-Anwendungen jetzt erweiterte Darstellungs- und Animationsfunktionen zur besseren Visualisierung des Produktdesigns. Die wichtigste Funktion ist die einfache Interaktion mit und Integration in den 3D-Druckprozess. Im Wesentlichen ist dies die Fähigkeit, 3D-Modelle zu erzeugen, die in Anweisungen für den 3D-Druck umgewandelt werden können. Die häufigste Methode, dies zu erreichen, ist das Speichern des Modells in einer so genannten STL-Datei (ein Akronym für STereoLithographie). Meistens muss die Modellierungssoftware ein optimales Gleichgewicht zwischen Funktionen, Einfachheit und Preis aufweisen.

- **STL-Dateisoftware** - Werkzeug zum Anzeigen, Bearbeiten und Reparieren von Problemen in .stl-Dateien;

STL ist das Standard-Dateiformat der Branche, das alle 3D-Drucker verstehen. Es verwendet Dreiecke, um die Außen- und Innenflächen eines festen 3D-Objekts darzustellen. Eine STL-Datei ist nicht automatisch in 3D druckbar. Kleine Fehler in der Entwurfsphase können den 3D-Druck unter Umständen mit großen Fehlern beeinträchtigen. Die häufigsten Designfehler, wie z. B. Lücken in den Netzen, nicht-mehrfache Geometrie, schwebende Oberflächen, dünne Wandstärken und sogar große Dateigrößen, können zu Druckfehlern und Fehldrucken führen. Es gibt eine Reihe von STL-Reparaturwerkzeugen, die helfen, die Probleme zu identifizieren und sogar die Modelle für einen erfolgreichen Druck zu reparieren.

- **Slicer-Software** - schneidet das 3D-Modell in hunderte oder tausende von flachen 2D-Schichten und gibt dem Drucker Anweisungen, wie die einzelnen Schichten gedruckt werden sollen;

Durch den Schneideprozess der STL-Datei wird der 3D-Entwurf in zweidimensionale, flache Schichten zerlegt, die der Drucker in einem Stapel drucken wird. Die Anzahl der erzeugten Scheiben hängt sowohl vom Design als auch vom 3D-Drucker ab. Außerdem kann der Schneideprozess Unterstützungsmaterial für die Teile des Designs hinzufügen, die über die unteren gedruckten Schichten hinausragen. Es ist möglich, der Software zu erlauben, automatisch Unterstützungsmaterial hinzuzufügen, oder der Benutzer kann manuell wählen, ob er Unterstützungen hinzufügen möchte. Zusätzlich zum Schneiden kann die Software auch die Möglichkeit bieten, die Position des Druckauftrags relativ zum Druckportal zu positionieren. Zusätzliche Funktionen ermöglichen die Änderung der Größe, die Einstellung der Druckauflösung und die Anpassung der Druckkopf Temperatur und -geschwindigkeit. Nach dem Schneiden erhält man eine druckfertige Datei im G-Code-Format.

- **3D-Drucker-Host-Software** - verbindet den Computer mit dem 3D-Drucker und wickelt die gesamte Kommunikation zwischen den beiden Geräten ab. Sie ermöglicht es Ihnen auch, den Druckprozess zu überwachen und Einstellungen in Echtzeit zu ändern.

Tabelle 3 listet die meisten der verfügbaren kostenlosen 3D-Druckprogramme auf (kostenlos für Studenten, Dozenten und Open-Source-Projekte).

Software	Function	Level	System	Website
3D Builder	Design	Beginner	Windows	3D Builder
3D Slash	Design	Beginner	Browser	3D Slash
Blender	Design	Professional	Windows, Mac, Linux	Blender
Figuro	Design	Intermediate	Browser	Figuro
FreeCAD	Design	Intermediate	Windows, Mac, Linux	FreeCAD
Fusion 360	Design	Intermediate	Windows, Mac	Fusion 360
OnShape	Design	Professional	Browser	OnShape
OpenSCAD	Design	Intermediate	Windows, Mac, Linux	OpenSCAD
Sculptris	Design	Beginner	Windows, Mac	Sculptris
SketchUp Free	Design	Intermediate	Browser	SketchUp
TinkerCAD	Design	Beginner	Browser	TinkerCAD
Vectary	Design	Intermediate	Browser	Vectary
3D-Tool Free Viewer	STL Analysis	Intermediate	Windows	3d-Tool Viewer
MakePrintable	STL Editor, Repair	Intermediate	Browser	MakePrintable
MeshLab	STL Editor, Repair	Professional	Windows, Mac, Linux	MeshLab

Meshmixer	STL Editor, Repair	Intermediate	Windows, Mac	Meshmixer
3DPrinterOS	STL Editor, Repair, Slicer, 3D Printer Host	Beginner	Windows, Mac, Ubuntu, Raspberry Pi	3DPrinterOS
Netfabb	STL Repair, Slicer	Professional	Windows	Netfabb
KISSlicer	Slicer	Intermediate	Windows, Mac, Linux	KISSlicer
Slic3r	Slicer	Intermediate	Windows, Mac, Linux	Slic3r
SliceCrafter	Slicer	Intermediate	Browser	SliceCrafter
AstroPrint	Slicer, 3D Printer Host	Beginner	Browser	AstroPrint
Cura	Slicer, 3D Printer Host	Beginner	Windows, Mac, Linux	Cura
OctoPrint	Slicer, 3D Printer Host	Intermediate	Windows, Mac, Linux, Raspbian (as OctoPi image)	OctoPrint
Repetier-Host	Slicer, 3D Printer Host	Intermediate	Windows, Mac, Linux	Repetier
MatterControl 2.0	Slicer, 3D Printer Host, Design	Beginner	Windows, Mac, Linux	MatterControl
IceSL	Slicer, Design	Intermediate	Windows, Linux	IceSL

3D printing and modelling workshop:

<https://www.youtube.com/watch?v=UjLJp1NjteA&list=PLPK2I9Knytg59bFpGjLzZqerAhgSr0h1D&index=1>

3.4 Vor- und Nachteile von AM- und 3D-Druck in der Industrie 4.0

Das Potenzial von AM- und 3D-Druck als neue Technologie ist unermesslich. Es ist eine Technologie, die die Welt, wie wir sie kennen, verändert. Die Zahl der Anwendungen, die auf AM basieren, wächst von Tag zu Tag, und das volle Potenzial der Technologie wird noch erforscht. Obwohl AM und der 3D-Druck zahlreiche Vorteile und Vorzüge haben, befindet sich AM wie jede andere neue oder neuere Technologie noch in der Entwicklung und es gibt auch gewisse Einschränkungen oder Nachteile.

3.4.1 Vorteile des AM- und 3D-Drucks

AM-Prozesse haben in den vergangenen zwei Jahrzehnten aufgrund der Vorteile, die sie den Fertigungsunternehmen bringen können, große Aufmerksamkeit erhalten. Diese Vorteile stehen in einem breiten Zusammenhang mit einem positiven Einfluss auf den Lebenszyklus des Produkts, sei es in der Herstellungs-, Nutzungs- oder Entsorgungsphase. So steht AM im Gegensatz zur traditionellen Fertigung, bei der z.B. mit verschiedenen Werkzeugen Material von einem Materialblock entfernt (oder abgezogen) wird, bis die endgültige Form oder das Teil erreicht ist, was als subtraktive Fertigung bezeichnet wird. Die Hersteller sehen AM als eine brauchbare Alternative in Fällen, in denen gegenwärtig CNC-Bearbeitung, Spritzguss oder Feinguss verwendet werden.



Abbildung 10 Vorteile von AM und 3D Druck

Einige der vielen Vorteile von AM sind (Bild 10):

- **Designfreiheit** - stark erhöhte Designfreiheit (Fähigkeit, bisher unerreichbar komplexe Formen und Geometrien wie innere Wege, Hohlräume und Strukturen zu schaffen), was zu einer erhöhten Funktionalität von Teilen oder Systemen sowie zu Gewichtseinsparungen führt, da aufgrund der hochwirksamen Designs weniger Material benötigt wird;
- **Reduzierung des Materialverbrauchs** - verbesserte Nachhaltigkeit des Gesamtbauteils durch die Reduzierung des Materialverbrauchs (minimaler Materialabfall) und Verbesserung der Teile, indem sie leichter und stärker gemacht werden;
- **Weniger erforderliche Werkzeuge** - Massen Anpassung aufgrund einer Produktion, die auf vernachlässigbaren oder weniger erforderlichen Werkzeugen (Matrizen, Formen usw.) basiert;
- **Kosteneinsparungen** - Kosteneinsparungen im Vergleich zu herkömmlichen Herstellungsmethoden und auch durch eine Reduzierung der einmaligen Kosten;
- **Reduzierung der Durchlaufzeiten** - schnellere Produktion und Reduzierung der Durchlaufzeiten (vom CAD direkt zur Produktion, ohne Werkzeuge);
- **Reparatur oder Wiederaufarbeitung** - Reproduktion veralteter Teile (die sonst nicht als Ersatzteil erhältlich sind), wodurch die wirtschaftliche Lebensdauer der Produktionsausrüstung verlängert wird.

Benefits of Additive Manufacturing : <https://www.youtube.com/watch?v=t3mm3IPMwk0>

3.4.2. Nachteile des AM und 3D-Drucks

Obwohl die additive Herstellung ein großes Potenzial hat, ist sie immer noch eine relativ neue Technologie, und es gibt Schlüsselbereiche, die verbessert und bei der Einführung der Technologie berücksichtigt werden müssen. AM ist nicht immer die richtige Wahl für die Produktentwicklung. 3D-Druck-Maschinen sind immer noch potenziell gefährlich und verschwenderisch. Außerdem sind ihre wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen noch nicht vollständig untersucht worden.



Image 11 – Limitations of AM and 3D printing.

Einige Einschränkungen oder Nachteile von AM sind die folgenden (Bild 11):

- **Hoher Energieverbrauch** - einigen Forschungsstudien zufolge verbrauchen 3D-Drucker viel mehr Energie als die traditionelle Herstellung. Unter diesem Gesichtspunkt ist der 3D-Druck besser für kleine Produktionsserien geeignet;
- **Teure Technologie** - AM-Druckgeräte und Materialkosten machen die Technologie teuer, insbesondere bei Metallen. Dennoch sinken die Preise mit der Ausweitung der Technologie jeden Tag;
- **Begrenzte Materialien** - obwohl der 3D-Druck ein bedeutender Durchbruch in der Fertigung ist, sind die verwendbaren Materialien immer noch begrenzt. Allerdings werden täglich viele neue Materialien für viele Industriezweige entwickelt;
- **Nicht für die Produktion in großem Maßstab geeignet.** Die AM-Technologie ist eher für Einzel- oder kleine bis mittlere Serienproduktionen geeignet. Dennoch werden derzeit industrielle Pilotlinien getestet, um AM in bestimmten Fällen für die Massenproduktion geeignet zu machen;
- **Begrenzte Größe der Teile** - die Größe der produzierbaren Komponenten ist in der Regel auf die Größe der Maschinenkammer beschränkt. Eine Ausnahme bilden Techniken, bei denen Manipulatoren, wie z.B. Roboter, die Herstellung sehr großer Teile ermöglichen;
- **Arbeitsplatzverluste** - mit der 3D-Drucktechnologie ist es möglich, Entwürfe und Prototypen in wenigen Stunden herzustellen, da sie nur einen einzigen Schritt benötigt. Sie eliminiert viele Schritte, die in der traditionellen Fertigung verwendet werden, und als Folge davon kann die Einführung des 3D-Drucks zu einem Rückgang der Fertigungsaufträge führen.

Gleichzeitig benötigt AM als neue Technologie jedoch geschulte Mitarbeiter mit neuen Fähigkeiten, um sich für neue AM-Aufträge zu qualifizieren.

Auf andere Einschränkungen der AM wird in der Regel hingewiesen, wie z.B. die Genauigkeit der Oberflächenbearbeitung, die schädlichen Emissionen der Prozesse und die fehlende Standardisierung. Wie bei jeder neuen Technologie müssen AM und der 3D-Druck noch verbessert und ihr volles Potenzial ausgelotet werden.

Literatur

3D Hubs. (2018). What is 3D printing? The definitive guide | 3D Hubs. [online] Available at: <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing> [Accessed 29 Jun. 2019].

3D Printing Industry. (2019). The Free Beginner's Guide - 3D Printing Industry. [online] Available at: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#01-basics> [Accessed 29 Jun. 2019].

3Dnatives. (2019). Additive Manufacturing: Applications by sector - 3Dnatives. [online] Available at: <https://www.3dnatives.com/en/applications-by-sector/> [Accessed 29 Jun. 2019].

All3DP. (2019). Best 3D Printing Software Tools in 2019 (All Are Free) | All3DP. [online] Available at: <https://all3dp.com/1/best-free-3d-printing-software-3d-printer-program/> [Accessed 29 Jun. 2019].

AMFG. (2019). Industrial Applications of 3D Printing: The Ultimate Guide - AMFG. [online] Available at: <https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimate-guide> [Accessed 29 Jun. 2019].

Bangera, J. (2016). The Ultimate Guide to 3D Printing and 3D Printers - Inkjet Wholesale Blog. [online] Inkjet Wholesale Blog. Available at: <https://blog.inkjetwholesale.com.au/featured/comprehensive-guide-3d-printing-3d-printers/> [Accessed 29 Jun. 2019].

Bangera, J. (2016). What Are The Advantages Of 3D Printing? - Inkjet Wholesale Blog. [online] Inkjet Wholesale Blog. Available at: <https://blog.inkjetwholesale.com.au/3d-printing/advantages-3d-printing/> [Accessed 29 Jun. 2019].

Bangera, J. (2016). What Are The Disadvantages Of 3D Printing? - Inkjet Wholesale Blog. [online] Inkjet Wholesale Blog. Available at: <https://blog.inkjetwholesale.com.au/3d-printing/disadvantages-3d-printing/> [Accessed 29 Jun. 2019].

GE Additive. (2019). What is Additive Manufacturing?. [online] Available at: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing> [Accessed 29 Jun. 2019].

GE Additive. (2019). Additive Manufacturing Processes. [online] Available at: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/information/additive-manufacturing-processes> [Accessed 29 Jun. 2019].

Hybrid Manufacturing Technologies. (2019). Hybrid Manufacturing Resources. [online] Available at: <http://www.hybridmanutech.com/resources.html> [Accessed 29 Jun. 2019].

23

Koslow, T. (2017). Additive Manufacturing Technologies: Introduction & Overview | All3DP. [online] All3DP. Available at: <https://all3dp.com/1/additive-manufacturing-technologies-guide/> [Accessed 30 Jun. 2019].

Lboro.ac.uk. (2019). Materials | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/materials/> [Accessed 29 Jun. 2019].

Lboro.ac.uk. (2019). The 7 categories of Additive Manufacturing | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University. [online] Available at: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/> [Accessed 29 Jun. 2019].

Pearson, A. (2018). 10 Advantages of 3D Printing. [online] 3D Insider. Available at: <https://3dinsider.com/3d-printing-advantages/> [Accessed 29 Jun. 2019].

Pearson, A. (2018). 10 Disadvantages of 3D Printing Technology. [online] 3D Insider. Available at: <https://3dinsider.com/3d-printing-disadvantages/> [Accessed 29 Jun. 2019].

Renishaw. (2019). Renishaw: Industries. [online] Available at: <https://www.renishaw.com/en/industrial-applications-of-renishaw-metal-additive-manufacturing-technology--15256> [Accessed 29 Jun. 2019].

Silbernagel, C. (2018). Additive Manufacturing 101: What is it? - Canada Makes. [online] Canada Makes. Available at: <http://canadamakes.ca/additive-manufacturing-101> [Accessed 29 Jun. 2019].

Stratasys. (2019). 3D Printing & Additive Manufacturing Services | Stratasys Direct. [online] Available at: <https://www.stratasysdirect.com/resources/tutorials/what-is-3d-printing> [Accessed 29 Jun. 2019].

Stratasys. (2019). 5 Unstoppable Industries Using Additive Manufacturing | Stratasys Direct. [online] Available at: <https://www.stratasysdirect.com/manufacturing-services/3d-printing/unstoppable-industries-using-additive-manufacturing> [Accessed 29 Jun. 2019].

V., C. (2019). Top 10 Best CAD Software for All Levels - 3Dnatives. [online] 3Dnatives. Available at: <https://www.3dnatives.com/en/top10-cad-software-180320194/> [Accessed 29 Jun. 2019].

Watkin, H. (2019). How to 3D Print a Name Tag Using Tinkercad | All3DP. [online] All3DP. Available at: <https://all3dp.com/how-to-3d-print-a-name-tag-using-tinkercad/> [Accessed 29 Jun. 2019].