



UNTERRICHTSMODUL 3-D-DRUCK/ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN

3-D-DRUCK/ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN

ARBEITSBLATT UND LEHRERINFORMATION

Fachinhalte:

- ▶ 3-D-Druck bzw. additive Fertigungsverfahren
- ▶ Materialien für 3-D-Druck und chemische Eigenschaften
- ▶ Scanning, Erfassung und Erstellung der digitalen 3-D-Konstruktionsdaten mit CAD Software
- ▶ 3-D-Modell
- ▶ Software-Codes von 3-D-Druck
- ▶ Slicing, d.h. Einteilung des Modells in Schichten
- ▶ Folgen für Umwelt und Wirtschaft



3-D-DRUCK/ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN

3-D-Druck oder sogenannte additive Fertigungsverfahren revolutionieren die industrielle Herstellung von Produkten. Auf „Knopfdruck“ entstehen dreidimensionale Werkstücke ausschließlich auf Basis digitaler Daten ohne Anfertigung von Werkzeugen oder Formen, indem Schicht für Schicht das Material aufgetragen wird. Mehrfarbiger 3-D-Druck und der gleichzeitige Einsatz verschiedener Materialien sind möglich. Selbst bewegliche Teile können gefertigt werden. Zeit- und Materialersparnis sowie Individualisierung der Produktion sind große Vorteile. Aber die uneingeschränkte Reproduzierbarkeit von Design, Funktion und Bauteilen birgt die Gefahr, Urheberrechte und Patente zu verletzen.

► Basisaufgabe ► Bonusaufgabe

AUFGABEN

1. DAS IST 3-D-DRUCK

MATERIAL

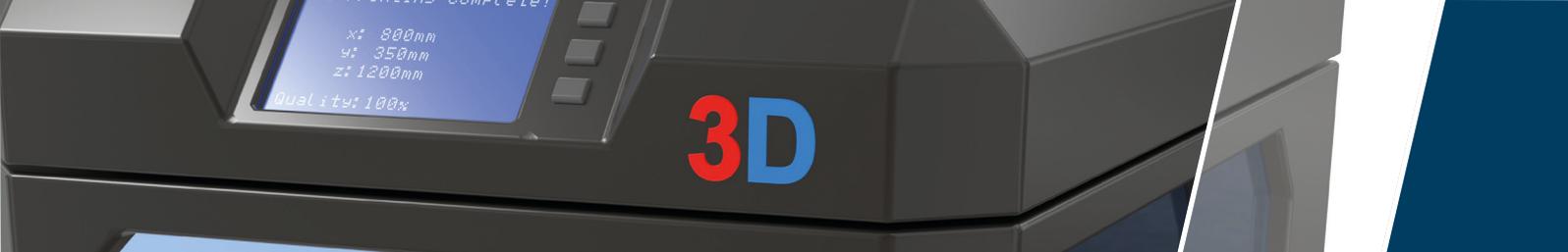
DAS IST 3-D-DRUCK

- Lies dir den rechts stehenden Sachtext zum 3-D-Druck aufmerksam durch. Ordne dann die fett gedruckten Begriffe aus dem Text der passenden Stelle in der Grafik (Abbildung 1) zu.

3-D-Druck oder additive Fertigung ist ein Verfahren, bei dem Material Schicht für Schicht übereinander aufgetragen wird. In jeder Schicht arbeitet der Drucker zweidimensional in der Fläche. Durch Verbinden der Schichten miteinander entstehen nach und nach dreidimensionale Objekte. Der 3-D-Druck von den Maßvorgaben zum fertigen Bauteil ist ein komplexer Prozess in mehreren Schritten mit jeweils spezieller Software und/oder Hardware. An den Schnittstellen werden die Daten in spezifischen Datei-Formaten an den nächsten Schritt übergeben.

Am Anfang des 3-D-Druckprozesses steht das Druckobjekt. Es liegt entweder real vor oder wird nach **Maßvorgaben** mit einer Konstruktionssoftware, unterstützt durch den Computer, erstellt. Dazu eignen sich **CAD-Systeme**, die viele virtuelle geometrische Standardformen vorgeben. Diese werden nachfolgend vom Nutzer angepasst, zusammengefügt und verändert. CAD-Systeme übergeben das konstruierte Modell an der **STL-Schnittstelle** (STL-Standard Triangulation) als digitale **3-D-Punktvolke**, auch STL-Datei genannt. Sie umfasst alle geometrischen Daten des Objekts im Raum.

Wird ein **reales Objekt** kopiert, müssen zunächst die realen geometrischen Maße der Oberfläche und teils auch das Innere durch spezielle **3-D-Scanning-Verfahren** erfasst werden. Es gibt verschiedene Scanning-Verfahren, die die Messdaten des Objekts als 3-D-Punktvolke in einer STL-Datei ausgeben. Im nächsten Schritt erstellt eine Software aus jeweils drei Punkten der 3-D-Punktvolke ein **Oberflächen-Dreieck** im Raum. Die gesamte Oberfläche des Objekts liegt nun virtuell in Form von winzigen Dreiecksflächen vor. Je mehr Punkte in der Punktvolke, desto „glatter“ ist die Oberfläche. Das ist die sogenannte **Triangulation**. Darauf aufbauend zerlegt die **Slicing-Software** das Objekt in viele einzelne **Schichten** („Slices“) sehr geringer Dicke. Für jede 2-D-Schicht wandelt die Software die Daten in **Maschinensprache** um. Es entsteht die sogenannte Datei in **G-Code**, die über die G-Code-Schnittstelle den 3-D-Drucker steuert. Der G-Code ist eine Liste von konkreten mechanischen Anweisungen an den Druckkopf für die **Bewegungen von A nach B**. Er gibt auch die Geschwindigkeit und die passende Temperatur vor. Der Drucker selbst besteht aus der Arbeitsplatte und dem **Druckbett**. Dieses kann beheizt werden und senkt sich nach dem Druck jeder Schicht



um die Schichtdicke nach unten ab. Am Gestänge des Druckers ist der **bewegliche Schlitten** und eine heizbare Düse mit dem **Extruder** befestigt. Diese formt und presst das Druckmaterial (*Filament*) aus und führt Material nach. Eine weitere Düse fügt – falls nötig – **Stützmaterial** zum Abstützen überragender Teile des Druckobjekts hinzu.

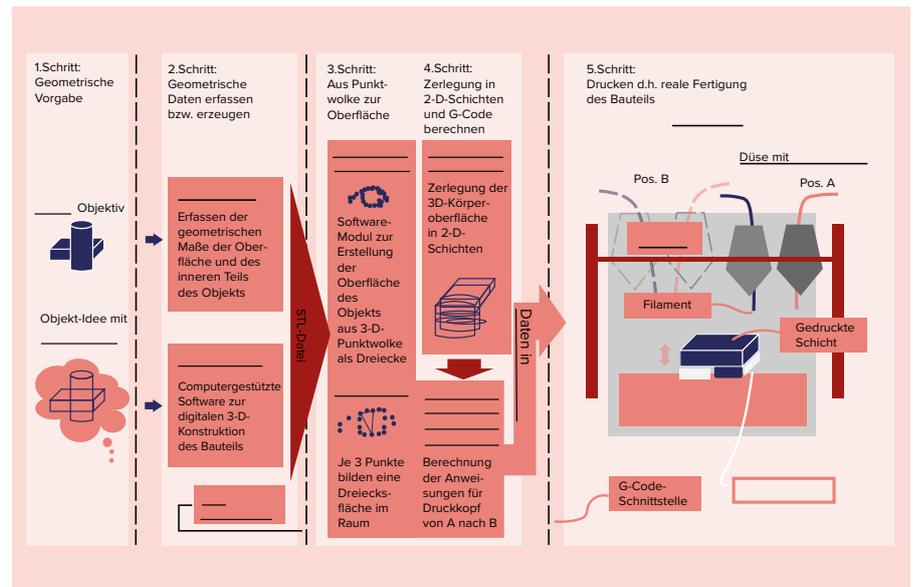


Abbildung 1

2. GEDANKENREISE ZUM 3-D-DRUCK

GRUPPENARBEIT: DRUCKT IN GEDANKEN EINE HANDELSÜBLICHE HENKELTASSE NACH UND TRAGT EURE ERGEBNISSE IN DIE TABELLE IN ABBILDUNG 4 EIN. DIE TASSE SOLL NACH DEN MAßVORGABEN IN ABBILDUNG 2 GEFERTIGT WERDEN. ACHTET AUCH AUF DIE ZWEIFARBIGKEIT.

EURE GRUPPE BEARBEITET EINE DER FOLGENDEN KOMBINATIONEN (ABBILDUNG 3):

- CAD-Konstruktion/Pulver-Druck
- Laser-Scanning/Druck mit geschmolzenem Material
- Fotogrammetrie-Technik/Flüssig-Druck

DRUCKOBJEKT	BESTES 3-D-MODELL	BESTER 3-D-DRUCK

MATERIAL / MODELL HENKELTASSE

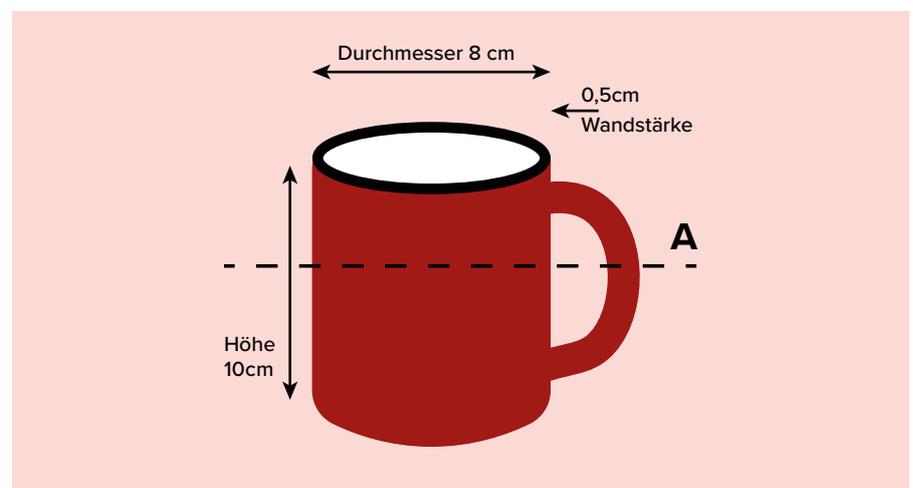


Abbildung 2



- ▶ Analysiert für eure Kombination die Verfahren zur Erstellung des 3-D-Modells und zum 3-D-Druck.
- ▶ Erörtert in Stichpunkten die einzelnen Schritte, die nach eurer Verfahrenskombination zum Druck der Tasse notwendig sind.
- Beginnt mit der Erstellung des 3-D-Modells für den 3-D-Drucker.
- Erstellt eine „Momentaufnahme“ des 3-D-Drucks im Schnitt A und trägt die passenden Begriffe in die zugehörige Grafik in der Tabelle ein.
- Schreibt Vor- und Nachteile für eure Verfahrenskombination im Bezug auf dieses Beispiel auf. Überlegt dazu, inwieweit Probleme auftreten könnten, ob das Verfahren gut funktioniert und ob es Verbesserungsmöglichkeiten gibt.
- ▶ Stellt eure Ergebnisse im Plenum vor und haltet in der Tabelle fest, welche Verfahrenskombination für die Tasse am besten geeignet ist.

MATERIAL / **ERSTELLUNG DES 3-D-MODELLS**

Verfahren zur Erstellung des 3-D-Modells

	KONSTRUKTION MIT CAD-SYSTEM	LASER-SCANNING	FOTOGRAMMETRIE-TECHNIK
Zustand des Druckobjekts	Nur als Maßvorgabe vorhanden	Real vorhandenes Objekt	Real vorhandenes Objekt
Hardware	-	Laser, Drehteller, Kameras	Kamera, rundum drehbare Lagerung für Objekte
Software	CAD-Software mit digitalem Formenkatalog (Würfel, Zylinder, Kugel etc.) und Bearbeitungsmenü.	Erfassung und Berechnung der Daten aus der Verformung des Gittermusters.	Berechnung der Oberfläche des Objekts aus überlappenden Einzelbildern. Verfolgung markanter Punkte.
Aufbau bzw. Software Frontend (Nutzeroberfläche)			
Funktionsweise des Aufbaus	Virtuelle Konstruktion des Objekts in 3-D.	Laser projiziert Gittermuster auf das Objekt und leuchtet besonders auch verdeckte Stellen der Oberfläche aus. Stereo-Kamera speichert Verzerrungen des Gitters durch das Objekt.	Die Kamera macht hunderte Einzelbilder aus jeder Perspektive rund um das Objekt. Nach jeder Drehung um wenige Grad ein Bild.

Drei 3-D-Druck-Verfahren

DRUCKVERFAHREN	MIT PULVER	MIT GESCHMOLZENEM MATERIAL	MIT FLÜSSIGEM MATERIAL
Was macht der Druckkopf?	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Auftragen von Kleber oder Bindemittel ▶ Pro Farbe ein Druckkopf ▶ Verkleben mit Laserlicht 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bewegt sich und presst geschmolzenes Material aus ▶ Für Farbdruck sind mehrere Druckköpfe nötig ▶ Extra Druckkopf für Stützmaterial 	Druckkopf ist ein Spiegel, der UV-Licht zum Aushärten des Materials auf alle X/Y-Koordinaten der Schicht richten kann.
Verfahren und Funktion	Erste Schicht ist eine vollflächige, hauchdünne Pulverschicht. Druckkopf trägt in der Schicht zwei-dimensionale Kleber zum Binden des Pulvers laut 3-D-Datei auf. Absenken des Druckbetts um eine Schichtdicke. Pulver wird erneut vollflächig verteilt. Drucker druckt zweite Kleberschicht bzw. verklebt mit Laser. Nicht verklebtes Pulver ist Stützmaterial.	Prinzip „bewegliche Heißklebepistole“: Sobald die erste Schicht erstarrt ist, senkt sich die Druckplatte um eine Schicht. Druckkopf trägt in der nächsten Schicht neues, geschmolzenes Material auf. Dies wiederholt sich, bis das Objekt komplett gedruckt ist. Unter Überhängen wird Stützmaterial (wasserlöslich oder wachsig) aufgedruckt.	Druckbett ist in Behälter mit flüssigem UV-empfindlichen Harz eingetaucht. Druckkopf bewegt UV-Strahl von unten kommend in 2-D über die Schicht und härtet das Harz. Erste Schicht verklebt mit dem Druckbett. Druckbett bewegt sich um eine Schicht aus dem flüssigen Harz nach oben. Das erstarrte Harz wird in Schichtdicke von frischem, flüssigen Harz bedeckt. Zweite Schicht des Modells wird „gedruckt“ bzw. ausgehärtet.

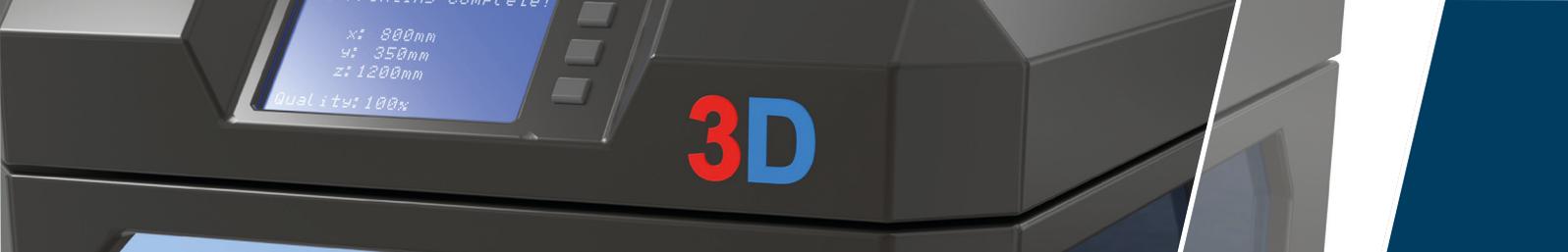


Typisches Objektmaterial	Gips, Kunststoff, Keramik	Kunststoff, Lebensmittel, Gips, Beton	Photokunststoff (Polymer), Mischung aus UV-Polymer und Keramik
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Einfacher Druck von Überhängen, da freies Pulver Stützmaterial ist ▶ Wiederverwendung von freiem Pulver ▶ Farbdruk mit farbigem Kleber 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sehr günstiges Verfahren ▶ Sehr weit verbreitet 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sehr hohe Druckqualität ▶ Weit verbreitetes Verfahren ▶ Höchster Detailgrad im Mikrometer-Bereich ▶ Gerade „Wände“ des Drucks ▶ Glatte Oberfläche, kein „Treppeneffekt“ zwischen Schichten ▶ Wasserdichtigkeit des Objekts
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Nachbehandlung im Flüssigkeitsbad zur Verfestigung und Dichtheit nötig ▶ Auflösung nur so fein wie Pulverkörnung ▶ Körnige Oberfläche ▶ Teures Verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Nicht sehr präzise ▶ Nachbehandlung für Stützmaterial nötig ▶ Runde „Wände“ der einzelnen Schichten aufeinander ▶ „Treppeneffekt“ ▶ Keine glatte Oberfläche 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Stützstrukturen in nadelartigem Materialauftrag nötig ▶ Nachbehandlung durch Ausbrechen der Stützstrukturen ▶ Aushärtung als Ganzes nötig ▶ Teuer ▶ Einfarbiger Druck

Abbildung 3

	KOMBINATION I: CAD-SYSTEM/3-D- DRUCK MIT PULVER	KOMBINATION II: LASER-SCANNING/ DRUCK MIT GESCHMOL- ZENEM MATERIAL	KOMBINATION III: FOTOGRAMMETRIE- TECHNIK/ FLÜSSIG-DRUCK
Erstellung des 3-D-Modells			
Materialauswahl und Druck			
Momentaufnahme des Drucks im Schnitt A	<p>Pulverdruck in der Schicht A</p>	<p>Druck mit geschmolzenem Kunststoff in der Schicht A</p>	<p>Druck mit UV-empfindlichem Kunststoff in der Schicht A</p>
Nachbehandlung nach Druck			
Vorteile			
Nachteile			
Verbesserungsmöglichkeit			

Abbildung 4



► **VERGLEICH VON ZWEI 3-D-DRUCK-VERFAHREN**

Drucke eine Hülse mit der Höhe $H = 1\text{ cm}$. Für den rechteckigen „Grundriss“ legt der Druckkopf die Strecke von 10 cm zurück.

Ein 3-D-Drucker mit dem Schmelzverfahren von Kunststoff hat eine Druckgeschwindigkeit von 20 mm/s und eine typische Schichtdicke von 100 Mikrometern (= 0,1 mm).

Ein 3-D-Drucker mit dem UV-Flüssigharz-Verfahren hat die typische Druckgeschwindigkeit von 200 mm/s und eine Schichtdicke von 0,01 mm.

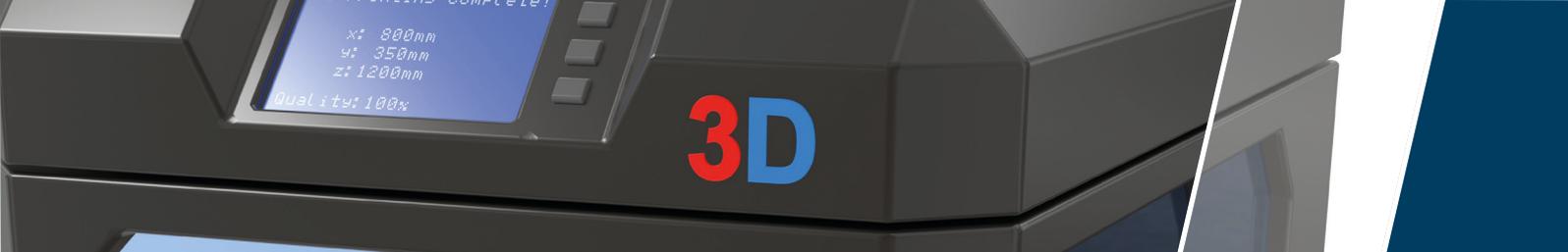
- Wie viele Schichten müssen gedruckt werden?
- Wie lange dauert der Druckvorgang?
- Welches Verfahren ist besser? Begründe.

MATERIAL	BONUSAUFGABE	
	SCHMELZ-VERFAHREN	UV-FLÜSSIGHARZ-VERFAHREN
Anzahl N der Schichten		
Dauer für eine Schicht		
Dauer insgesamt		

3. 3-D-DRUCK IN DER INDUSTRIELLEN ANWENDUNG

- Setzt euch in Zweiertteams zusammen und analysiert die drei Beispiele für typische 3-D-Druck Anwendungen in der Industrie (Abbildung 5).

MATERIAL	INDUSTRIELLE ANWENDUNGEN		
	SCHNELLER MODELLBAU VON EINZELSTÜCKEN (ENGL. RAPID PROTOTYPING)	(SERIEN-)PRODUKTION	MACHBARKEITSNACHWEIS FÜR KONSTRUKTIONSENTWÜRFE (PROOF OF CONCEPT)
Typische Beispiele	Werkzeuge, Designmodelle, Modellbau (Architektur, Bauteile, Karosseriebau)	Defekte Bauteile nach Vorlage, Spezialbauteile in Kleinserie	Überprüfung der Funktion von beweglichen Teilen, Passgenauigkeit
			
Allgemeine Eigenschaften von 3-D-Druck	<ul style="list-style-type: none"> ► Drucker arbeitet ohne Zwischenschritt mit beliebig skalierbaren, digitalen Daten ► „Ausdrucken“ der Konstruktionsdaten nahe beim Kunden ► Werkzeuglose Fertigung ► Teilweise hohe Geräusentwicklung und giftige Abgase ► Fertigung feinsten Strukturen ohne Spezialwerkzeug möglich 		
Eigenschaften von 3-D-Druck mit Auswirkungen auf diese Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> ► Schnelle und direkte Umsetzung eigener Konstruktionen 	<ul style="list-style-type: none"> ► (Raub-)Kopien sind möglich ► Druckverfahren bestimmt die Materialauswahl ► Gleichzeitiger Druck von mehreren Werkstücken ► Fertigung durch Auftragen von (Nutz-)Material ► Relativ große Fertigungsdauer 	<ul style="list-style-type: none"> ► Kopien bewährter Vorbilder möglich ► Einfache Überprüfung neuer Konstruktionsmethoden



Wirtschaftliche Chancen & Vorteile			
Risiken und Gefahren			
Nachhaltigkeit			

Abbildung 5

► Ordnet den Anwendungen die passenden Aussagen aus dem Infokasten (Abbildung 6) zu. Tragt dazu die Großbuchstaben in die passenden Rubriken der Tabelle ein (Wirtschaftliche Chancen & Vorteile, Risiken und Gefahren, Nachhaltigkeit). Die Aussagen können mehrfach zugeordnet werden.

A	Druckverfahren beeinflusst die mechanischen, physikalischen und chemischen Bauteil-Eigenschaften
B	Skalierbarkeit von Modellen möglich, d.h. maßstäbliche Vergrößerung oder Verkleinerung
C	Wirtschaftlich, da keine Anfertigung von Werkzeugen und Formen
D	Wirtschaftliche Fertigung filigraner und komplexer Bauteile
E	Urheberrechtsverletzung durch Nachbau und (Raub-)Kopien von Vorhandenem
F	Zeitersparnis durch direkte Umsetzung von Konstruktionsdaten
G	Materialersparnis, da keine materialabtragende Fertigung
H	Keine Urheberrechtsverletzung bei Verwendung von eigenen CAD-Daten
I	Wirtschaftlich auch für Null- oder Kleinserien
J	Individuelle Lösungen für einen Kunden
K	Teils starke Geräuschestehung und Abgase bei 3-D-Druck
L	Weniger Transport, Logistik und CO ₂ durch kundennahe Produktion
M	Durchgehende Digitalisierung der Prozesse
N	Potenzial für Leichtbautechnik
O	Keine Massenproduktion möglich
P	Langsamer Fertigungsprozess

Abbildung 6