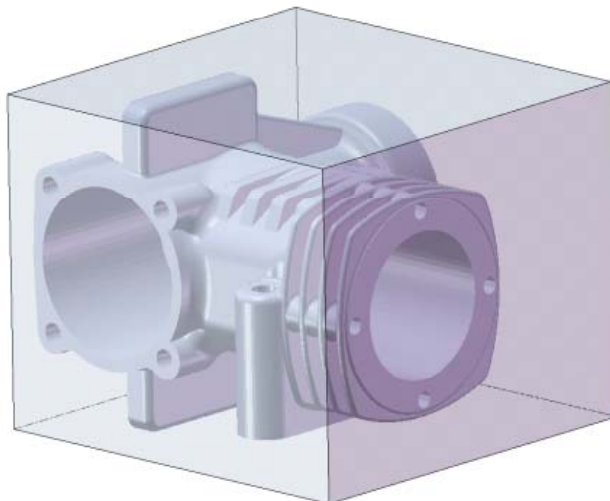


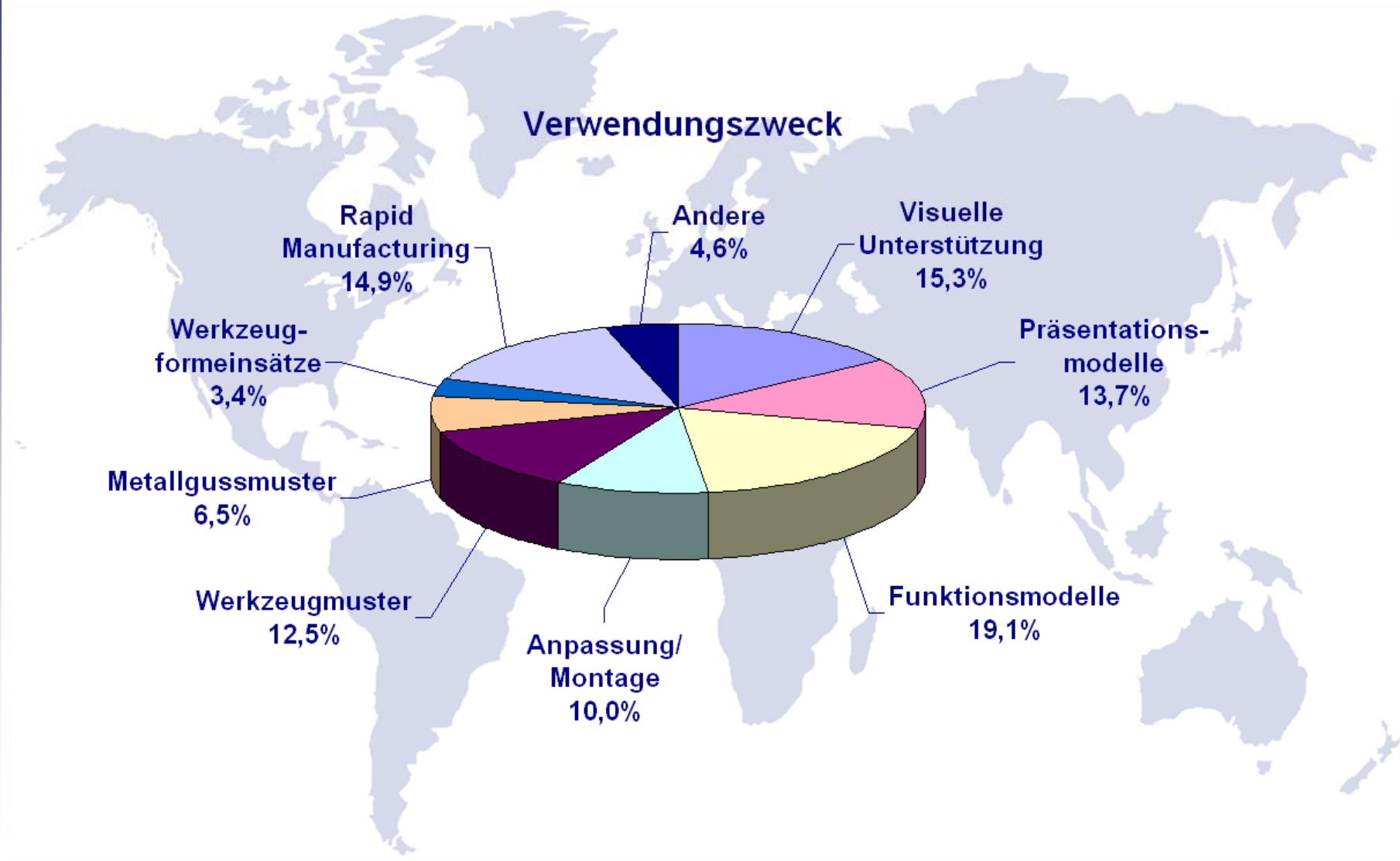


Anforderungen an funktions- und fertigungsgerechte Produktmodelle beim Einsatz generativer Herstellungsverfahren



Prof. Dr.-Ing. Peter Köhler

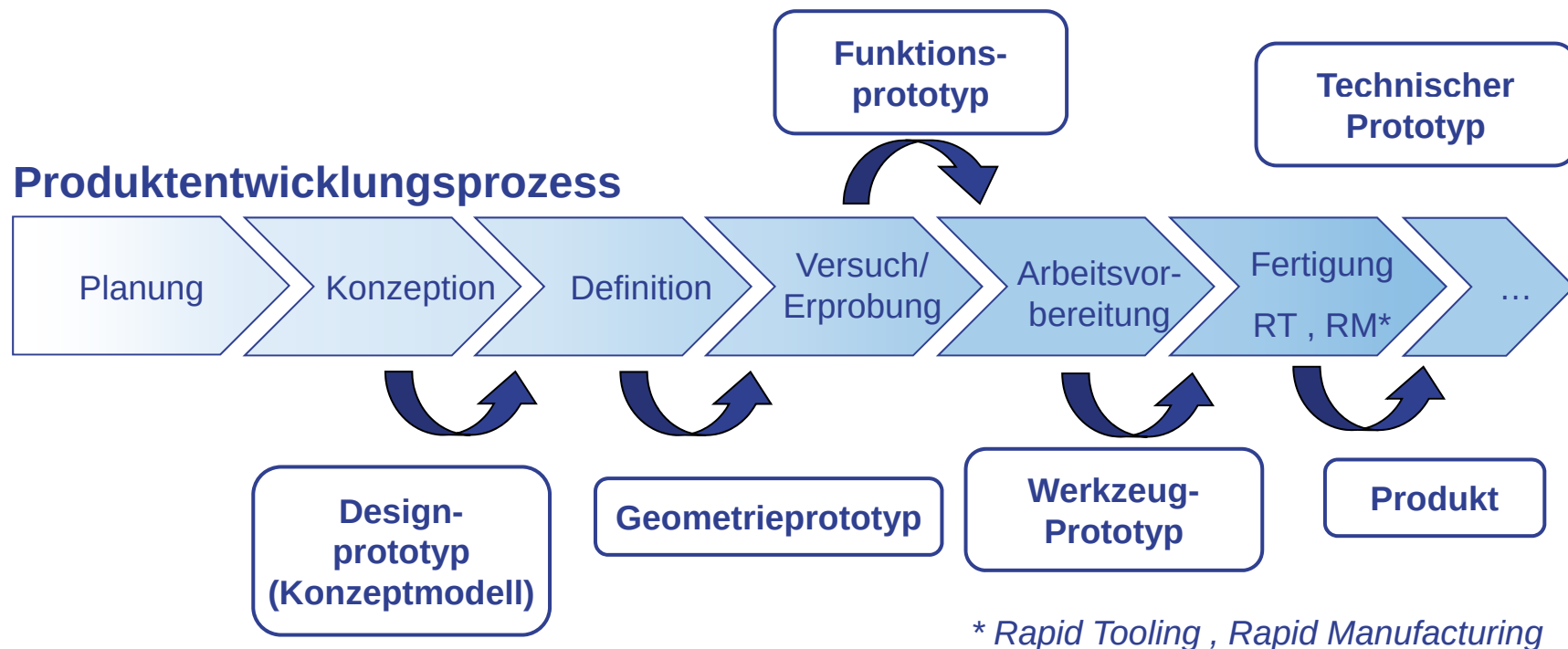
*unter Mitarbeit von
Dipl.-Ing. Stéphane Danjou*



(Quelle: Wohlers Report 2008)

Anforderungen ergeben sich zunächst aus der Fragestellung:

Für welchen Anwendungsfall ist das Produkt (generativ) herzustellen und was darf es kosten?



➔ Je nach Verfügbarkeit der Anlagen ergibt sich hier zunächst die „Qual der Wahl“ hinsichtlich des Verfahrens.

P. Köhler, M. Blümer: Auswahlkriterien für Verfahren zum Herstellen von Prototypen, Seite 30 bis 37

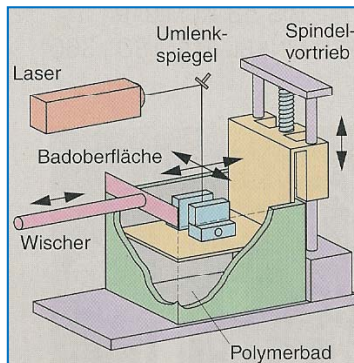


Bild 1: Die Stereolithographie ist das am weitesten verbreitete Verfahren.

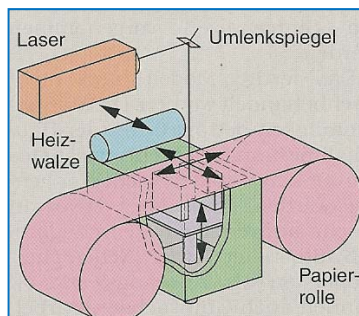


Bild 4: Beim Laminated Object Manufacturing werden dünne Folien aufeinander geklebt, die mit einem Laser entsprechend der Kontur zugeschnitten werden.

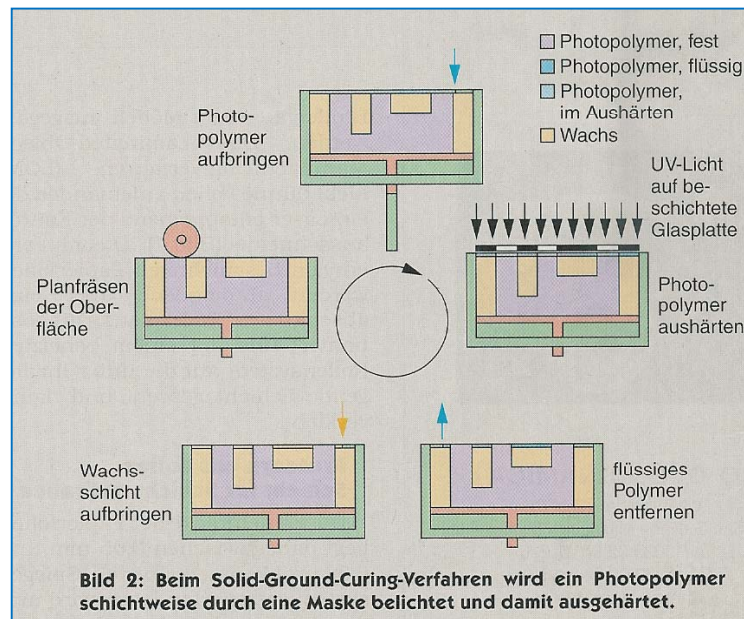


Bild 2: Beim Solid-Ground-Curing-Verfahren wird ein Photopolymer schichtweise durch eine Maske belichtet und damit ausgehärtet.

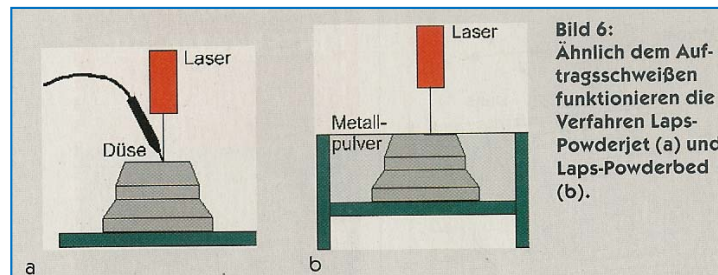


Bild 6: Ähnlich dem Auftragsschweißen funktionieren die Verfahren Laps-Powderjet (a) und Laps-Powderbed (b).

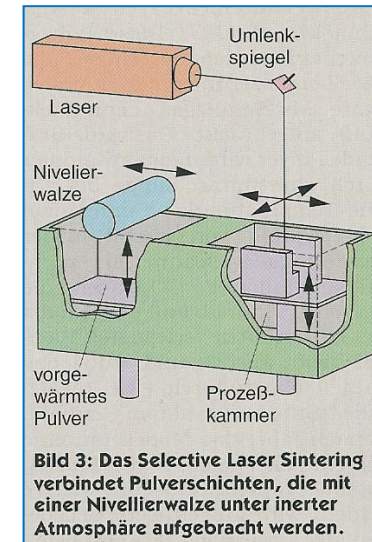


Bild 3: Das Selective Laser Sintering verbindet Pulverschichten, die mit einer Nivellierwalze unter inerter Atmosphäre aufgebracht werden.

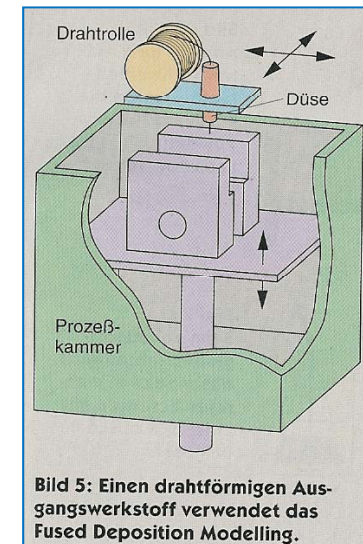


Bild 5: Einen drahtförmigen Ausgangswerkstoff verwendet das Fused Deposition Modelling.

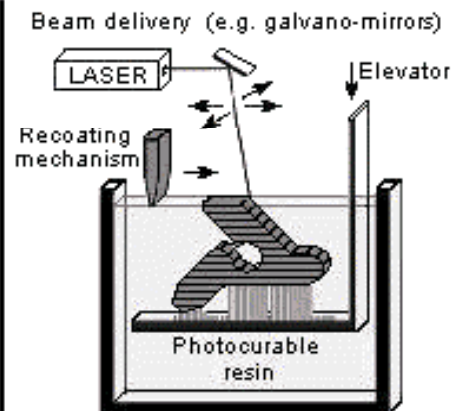
Im letzten Jahrzehnt gab es verschiedene Aktivitäten, in die auch Arbeiten zur Qualifizierung der Verfahrensauswahl integriert waren.

Hier eine Auswahl:

- *Macht, M.: Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping. Dissertation TU München, IWB 1999.*
- *Kaschka, U.: Methodik der Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl und Bewertung von konventionellen und Rapid-Tooling-Prozessketten. Shaker, 1999. (Dissertation TU Chemnitz)*
- *Birke, C.: Der Einsatz von Rapid-Prototyping-Verfahren im Konstruktionsprozess. Universität Magdeburg, Institut für Maschinenkonstruktion, Dissertation 2002.*
- *Rettenmaier, M.: Entwicklung eines Modellierungs-Hilfssystems für Rapid Prototyping-gerechte Bauteile. Universität Stuttgart, IMA, Dissertation, 2002.*
- *Dreher, St.: Flexible Integration von Rapid Prototyping Prozessketten in die Produktentstehung. Dissertation TU Berlin 2005.*
- *SFB 374 an der Universität Stuttgart „Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte - Rapid Prototyping „ (1994 – 2007)*
- *AiF-Projekt „Wissensbasiertes Unterstützungssystem für Rapid Prototyping gerechte 3D-CAD-CAM-Prozesse“ (Uni Duisburg-Essen und GFAI Berlin) (2007 bis 2009)*
- *VDI-Richtlinie 3404 „Generative Fertigungsverfahren“ (2009)*

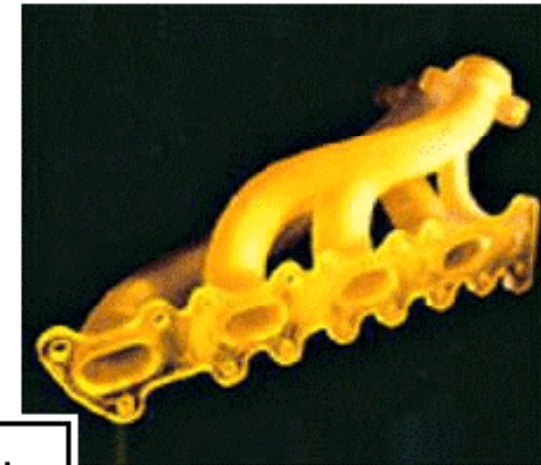
Stereolithographie (SL oder STL)

Verfahrensprinzip



schichtweises
Aushärten eines
flüssigen Photo-
polymers mit
Hilfe eines
Lasers

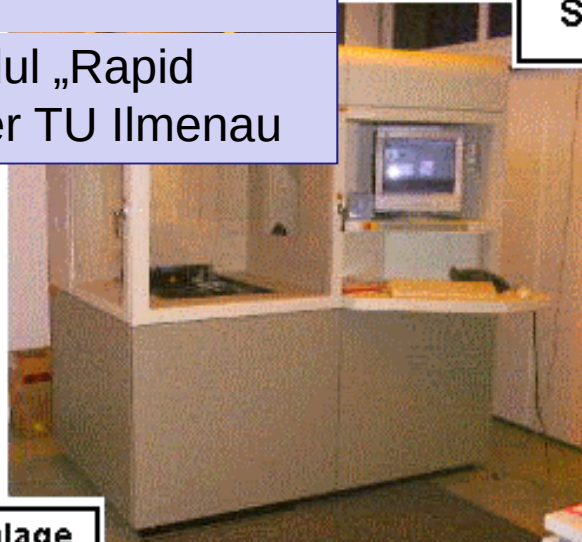
Anwendungsbeispiel



Quelle:
eLearning-Modul „Rapid
Prototyping“ der TU Ilmenau

Stereolithographie

- > Bauteile hoher Komplexität herstellbar
- > ausschließlich Photopolymere verarbeitbar (Acryl-, Epoxy- und Vinyletherharze)
- > Stützkonstruktion erforderlich
- > max. Bauteilgröße: 600 x 600 x 400 mm³
- > erreichbare Maß- u. Formgenauigkeit: ca. +/- 0,1 mm
- > Anlagenkosten: 300 TDM bis 1.125 TDM



Anlage

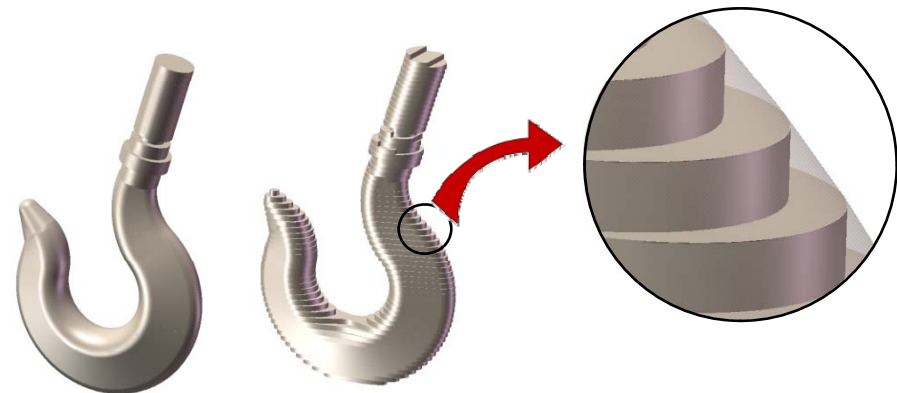
Merkmale

Verfahrens-Know-how ist dennoch häufig nur in Form personalen Wissens vorhanden, da die entwickelten Ansätze und Unterstützungssysteme bisher nur unzureichend im CAE-Umfeld integriert sind.

Nötig sind Kenntnisse über wesentliche Verfahrensmerkmale.

Dazu gehören

- Bauraumgröße
- verarbeitbare Werkstoffe
- erreichbare Genauigkeiten
- Bauzeiten
- Baukosten
-



Zur Herstellung von Serienbauteilen aus Metall eignen sich vor allem das Strahlschmelzen und für Kunststoffe das Lasersintern sowie die Stereolithographie .

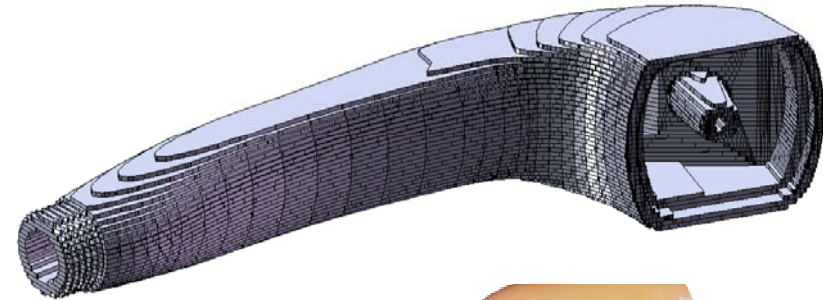


Die mit einem Verfahren erzielbaren Bauteileigenschaften hängen jedoch nicht nur vom Verfahren und den geometrischen Ausprägungen des Bauteils ab, sondern auch von den Anlagenparametern.

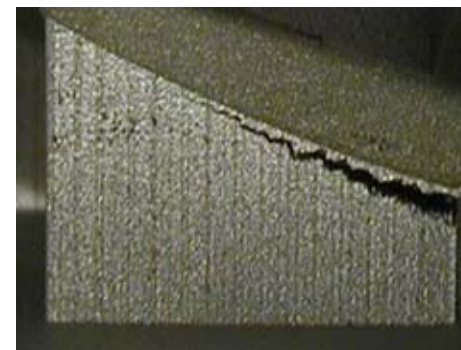


Die Bauteilqualität ist neben den Materialeigenschaften im Wesentlichen durch die Maßhaltigkeit und Oberflächengüte charakterisiert:

- Abbildungstreue des Schichtmodells (→ Treppenstufeneffekt, *stair casing*)
- Kontaktstellen zwischen Bauteilflächen und Stützkonstruktionen (*Supports*)
 → Nachbearbeitung notwendig!
 Besonders kritisch bei Funktions- und Designflächen.
- Entfernbare von Supports (Zugänglichkeit)
- Temperaturverteilung im Bauteil/Bauraum (→ Verzug, *Curling*)



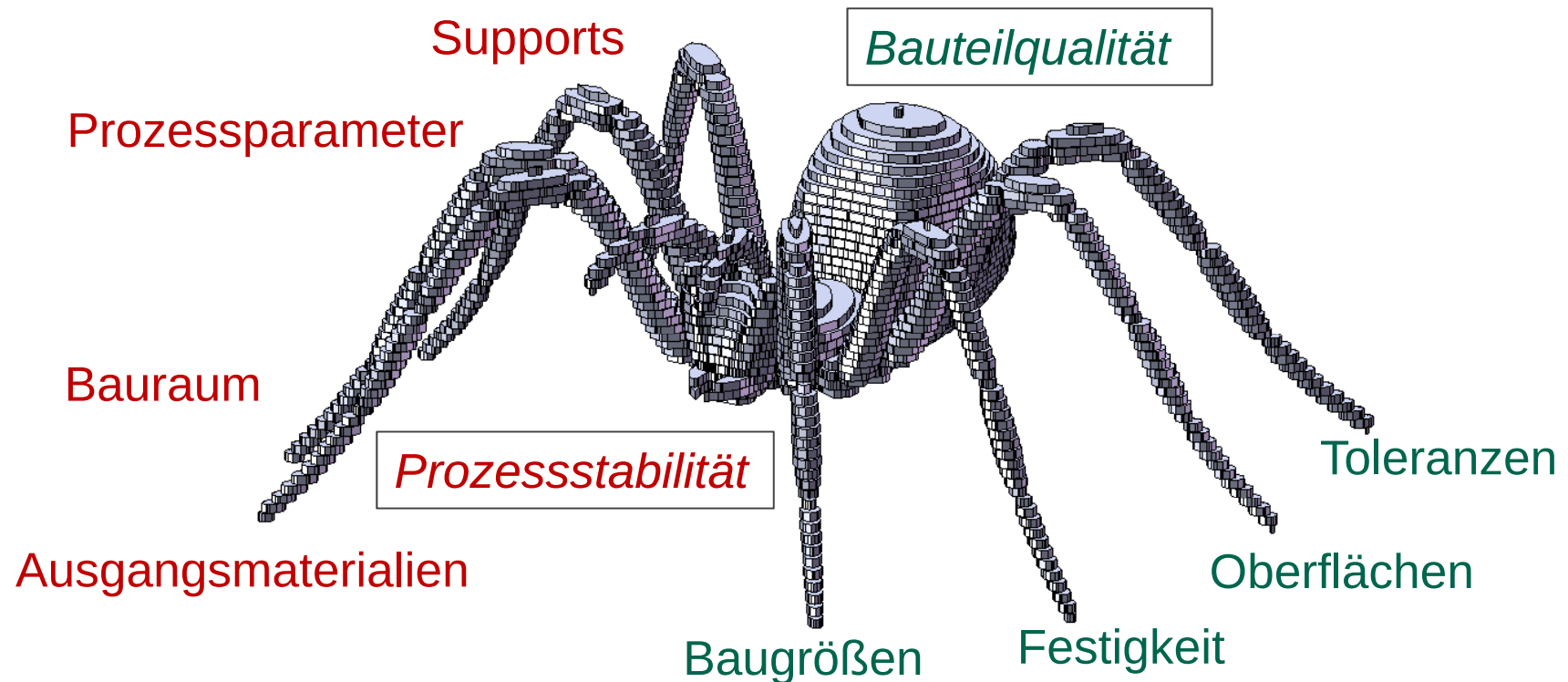
(Quelle: envisionTEC GmbH)



(Quelle: EOS)

Der Aufbau **funktions-** und **fertigungsgerechter** Produktmodelle basiert stets auf einem Kompromiss (→ Zeit, Kosten und Qualität)!

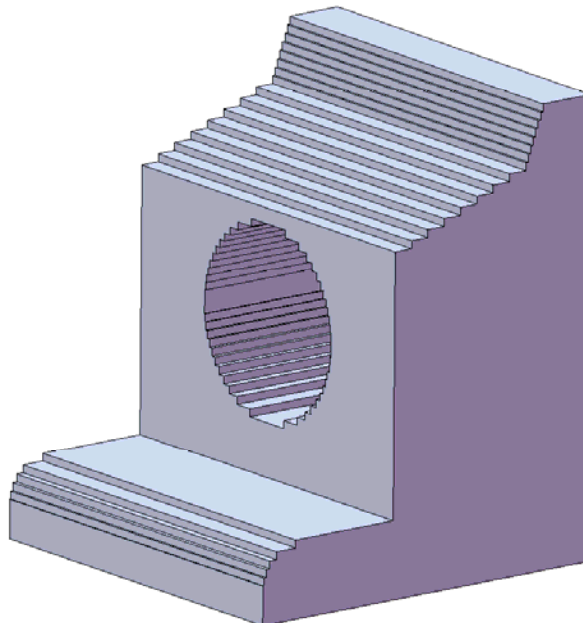
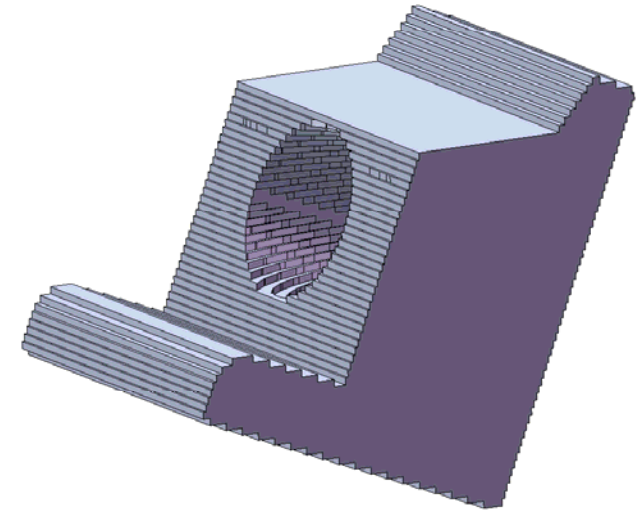
→ Beachtung von Wechselwirkungen



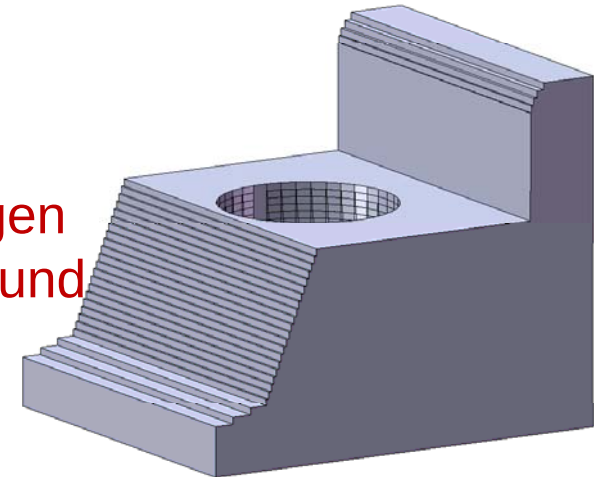
Beispiel: **Formtoleranzen**

← Einfluss der Bauteilorientierung

- Geradheit
- ▭ Ebenheit
- Rundheit
- ⌀ Zylinderform
- ⌒ Profilform einer Linie
- ⌒ Profilform einer Fläche

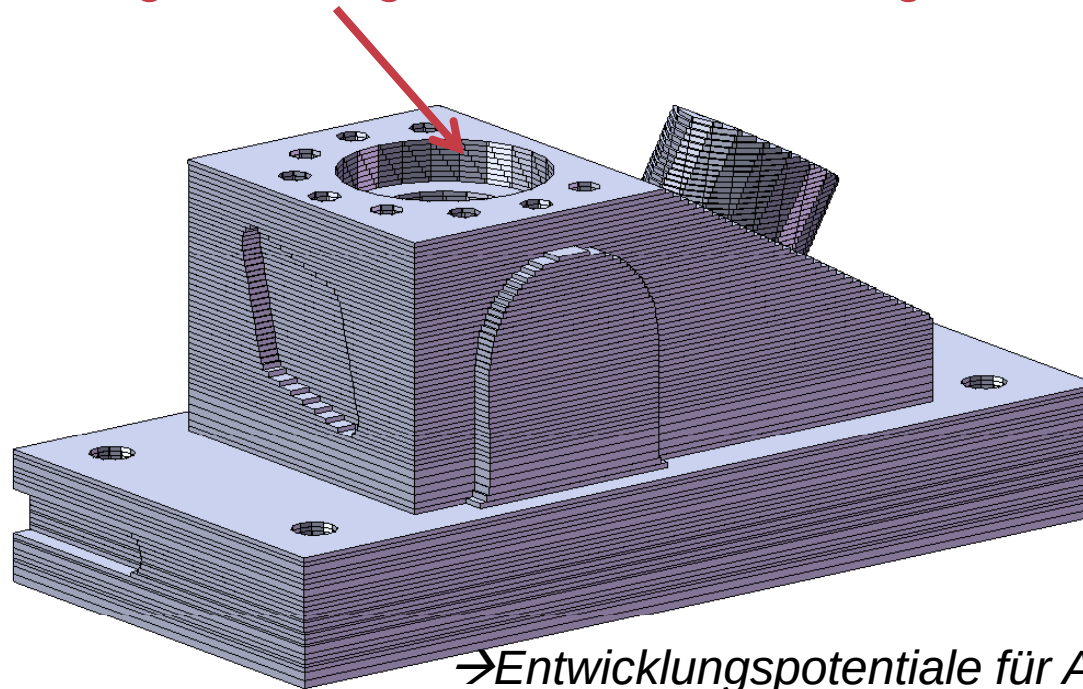


→ Wechselwirkungen
von Flächengröße und
Verzug



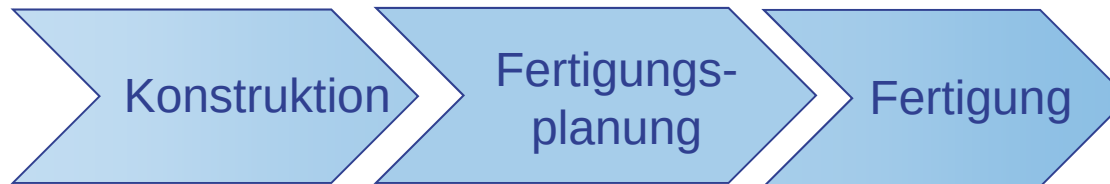
Die Einhaltung von Maß-, Oberflächen- sowie Form- und Lagetoleranzen hängt nicht nur von den Prozessparametern ab, sondern vor allem auch vom Informationsgehalt des verwendeten Datenformats.

Kreise könnten in Baurichtung auch Kreise bleiben, wenn statt des STL-Formats ein realitätsnäheres Produktmodell verwendet wird und die Steuerung der Anlage auch Kreisbahnen generieren kann.



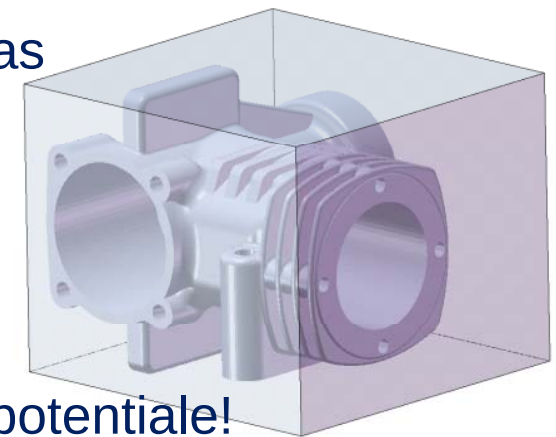
→Entwicklungspotentiale für Anlagenhersteller

Vergleich mit anderen Fertigungsverfahren



In CAD-CAM-Prozessen und damit auch im Zusammenhang mit den generativen Fertigungsverfahren sind qualifizierte CAD-Modelle wichtiger Ausgangspunkt für eine durchgängige Prozesskette.

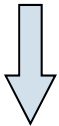
Beim Gießen werden einige Gestaltungsfeature in das Produktdatenmodell erst integriert, wenn die Bauteilorientierung für den Prozess festgelegt ist. Die detaillierte Fertigungsplanung ist hier eine unbestrittene Notwendigkeit.



Bei generativen Verfahren gibt es noch Entwicklungspotentiale!

- Analyse und Sicherung der Modellqualität (digital und real)
- Optimierung der Bauteilorientierung, adaptive Schichtzerlegung, ...

Wesentlicher Bestandteil der Prozessvorbereitung ist die Auswahl einer geeigneten Bauteilorientierung

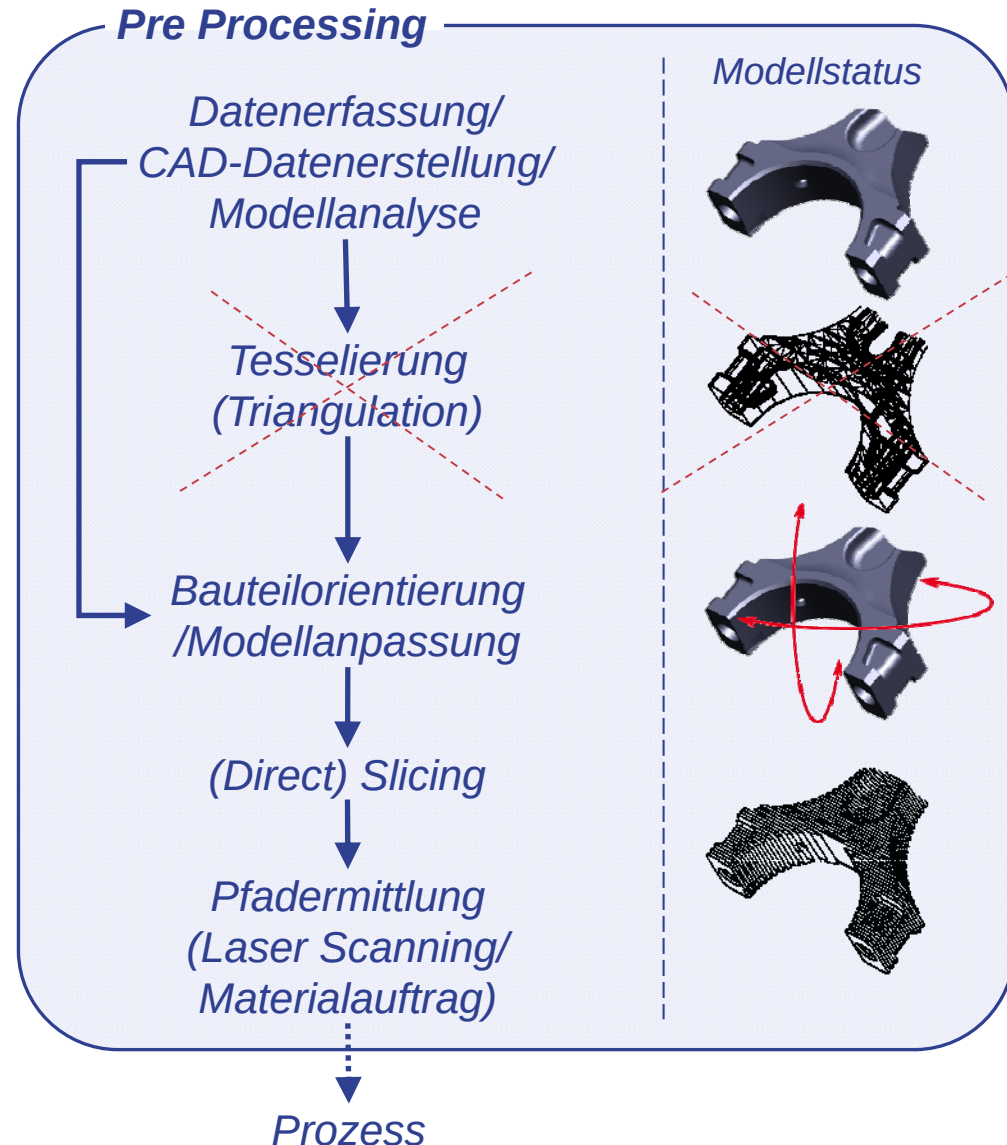


Berücksichtigung zahlreicher orientierungsabhängiger Effekte:

- Treppenstufen-Effekt
- anisotrope Materialeigensch.
- Materialverbrauch (Supports)
- etc.

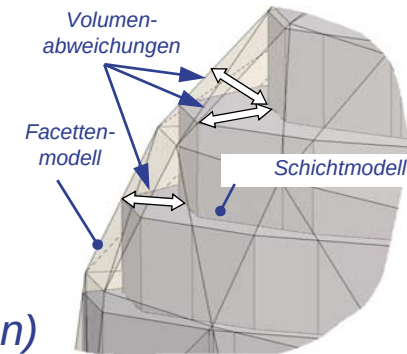


Ansatz einer computer-
 gestützten Optimierung der
 Bauteilorientierung

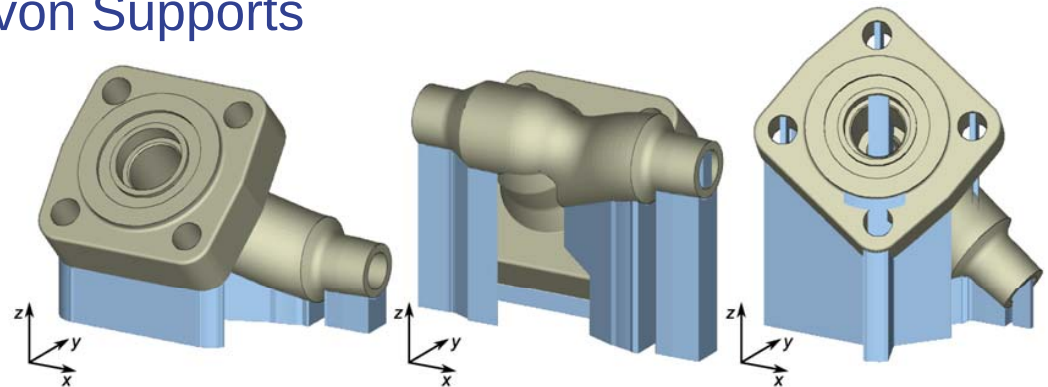


Teilaufgaben zur Optimierung der Bauteilorientierung:

- Quantifizierung der Bauteilgenauigkeit
- Quantifizierung der Support-Kontaktstellen
(z.B. durch den Flächeninhalt der von Supports betroffenen Facetten)



- Beurteilung der Entfernbareit von Supports
(Setzt Zugänglichkeit entsprechender Werkzeuge voraus)



- Quantifizierung von Temperaturgradienten
(entweder durch spezielle Simulationssoftware oder überschlägig durch Ermittlung großer Belichtungsflächen und großer aufeinanderfolgender Querschnittsprünge)
- Quantifizierung der orientierungsabhängigen Baukosten
- Beurteilung mechanisch-technologischer Eigenschaften

→ Softwareunterstützung des Simultaneous Engineering z.B. durch prozessorientierte Analysefeature

Verfahrensauswahl

Eingabegrößen zur Schichtzerlegung

Eingabegrößen zur Support-Erzeugung

Optimierungsoptionen

Bauteilstatistik

Vorschau

Ergebnisse der Optimierung

Statistik

Analyseergebnisse des Bauteils MOLEFFRONT

Abmessungen	X	Y	Z	
Minimum	0,000	0,000	6,21	mm
Maximum	71,983	69,701	26,926	mm
Delta	71,983	69,701	20,675	mm

Dreivolumen: 6,464
Fläche: 3,218
Volumen: 14,175,47 mm³
Oberfläche: 12,879,97 mm²

Details

X-Drehwinkel [°]	Y-Drehwinkel [°]	Volumenabweichung (gesamt) [mm³]	[%]	Oberflächenfaktor	Curlingfaktor
0,0	0,0	16,505,74	117,30	3,179	3,596

Supp.Volumen [mm³]: 52,169,06
Kontaktfläche (Support) [mm²]: 4,489,72
Bauhöhe [mm]: 20,68
Bauzeit: 2h 38min
geschätzte Baukosten [€]: 337,-

Exportfunktion

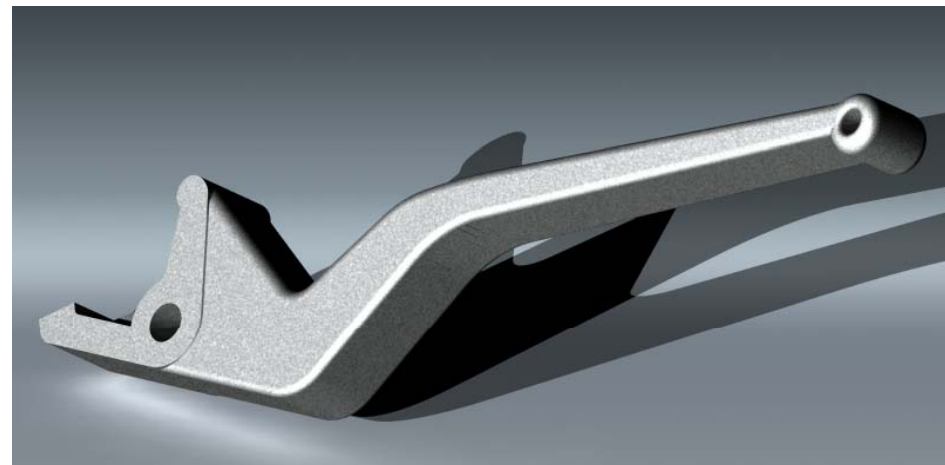
Ergebnisdetails

Quelle: Dissertation Danjou

Orientierungsvorschlag entspricht Orientierung mit bestmöglicher Minimierung der quantifizierten Einflussfaktoren

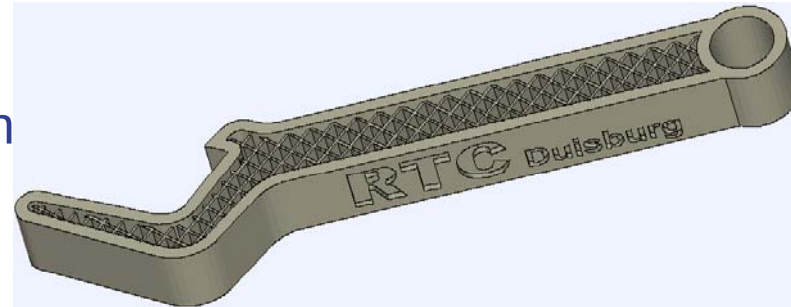
Ergebnisse der Multiziel-Optimierung stellen Vorschläge und Hilfsmittel für die Entscheidungsunterstützung dar, keine absoluten Ergebnisse!

→ Die Erfahrung des Anwenders ist nicht ersetzbar, jedoch kann die computergestützte Optimierung der Bauteilorientierung den Entscheidungsprozess unterstützen.

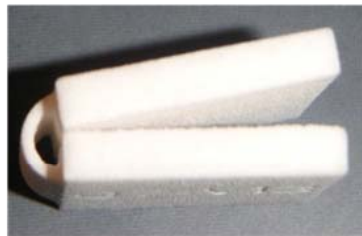


Kompromiss aus Qualität und Effizienz

- Umsetzung von Leichtbaustrukturen
- Funktionsintegration



Stangenscharniere



Filmscharniere



Spiralfedern



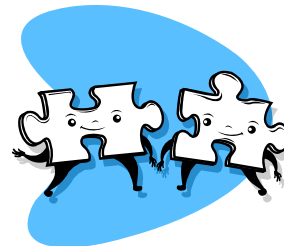
Kugelschreiber



Tütenverschluss

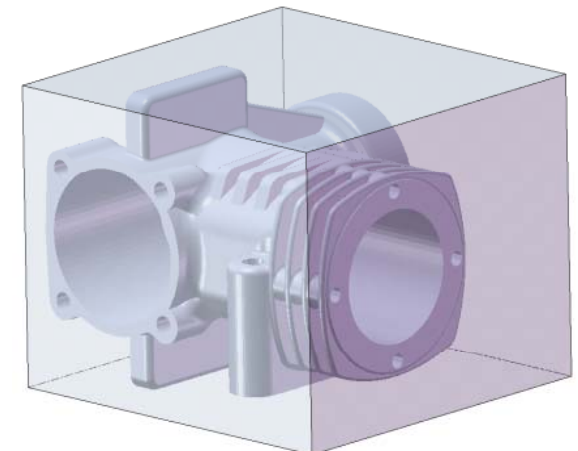
Quelle: RTC Duisburg

- Multimaterialbauweisen
- Verfahrenskombinationen
- Bauteilsegmentierung
- ...



Vortragsthemen waren ausgewählte Themen zur funktions- und fertigungsgerechten Produktmodellierung beim Einsatz generativer Herstellungsverfahren

- Wichtige Grundlage sind Verfahrensmerkmale
- Wechselseitige Weiterentwicklung von Produkten und Verfahren
- Simultaneous Engineering
- Notwendigkeit zur Qualifizierung der Produktdatenmodelle
- Unterstützung des Entwicklungsprozesses
- Notwendigkeit zur Qualifizierung der Prozesskette
- Ausnutzung der Verfahrenspotentiale.



Vielen Dank für Ihr Interesse!