



Industrial Internet of Things

Computer Aided Design und generative Fertigungsverfahren



Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik
Prozesse und Systeme
Universität Potsdam



Chair of Business Informatics
Processes and Systems
University of Potsdam

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gronau
Lehrstuhlinhaber | Chairholder

August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany

Tel +49 331 977 3322

Fax +49 331 977 3406

E-Mail ngronau@lswi.de

Web lswi.de



Konstruktion

Computergestützte Konstruktion

Computer Aided Design

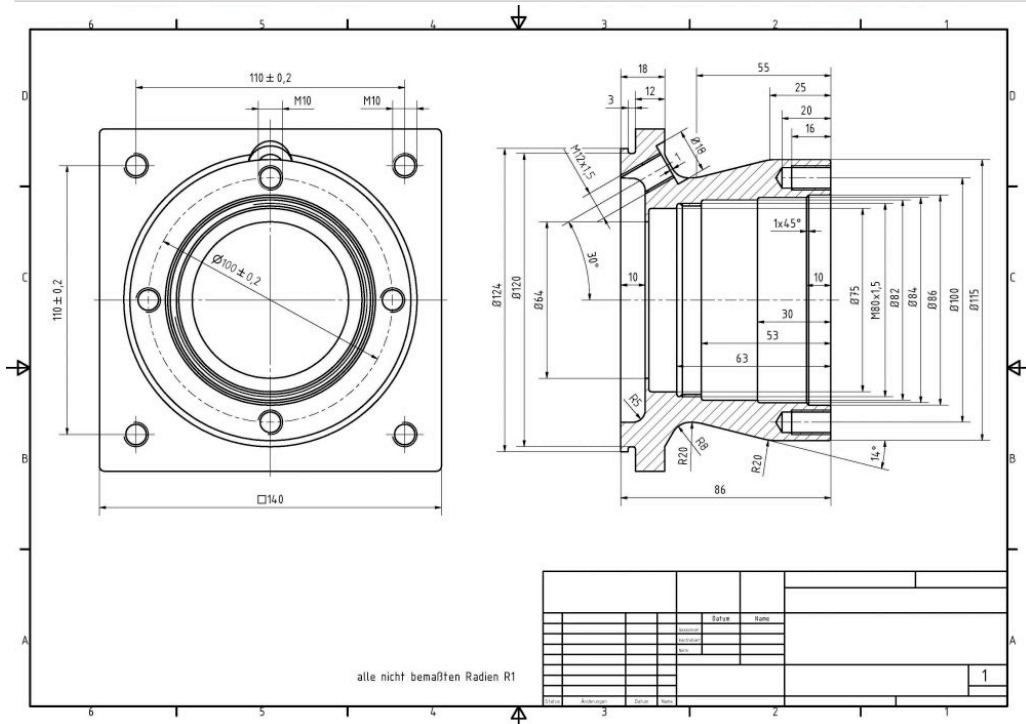
Generative Fertigungsverfahren

Konstruktionsarten

Konstruktionsarten		Konstruktionsphasen			
		Konzipieren		Entwerfen	Ausarbeiten
Gruppenbegriffe	Gebräuchliche Begriffe	Funktionsfindung	Prinzip-erarbeitung	Gestaltung	Detaillierung
Neukonstruktion	Neukonstruktion Entwicklungs-konstruktion Angebots-konstruktion	[Progress bar: 100%]		[Progress bar: 100%]	[Progress bar: 100%]
Anpassungs-konstruktion	Anpassungs-konstruktion Angebots-konstruktion Fertigungs-konstruktion Änderungs-konstruktion			[Progress bar: 100%]	[Progress bar: 100%]
Varianten-konstruktion	Varianten-konstruktion			[Progress bar: 100%]	[Progress bar: 100%]

Quelle: Hoischen / Hesser 2005

Technische Zeichnungen





Konstruktion

Computergestützte Konstruktion

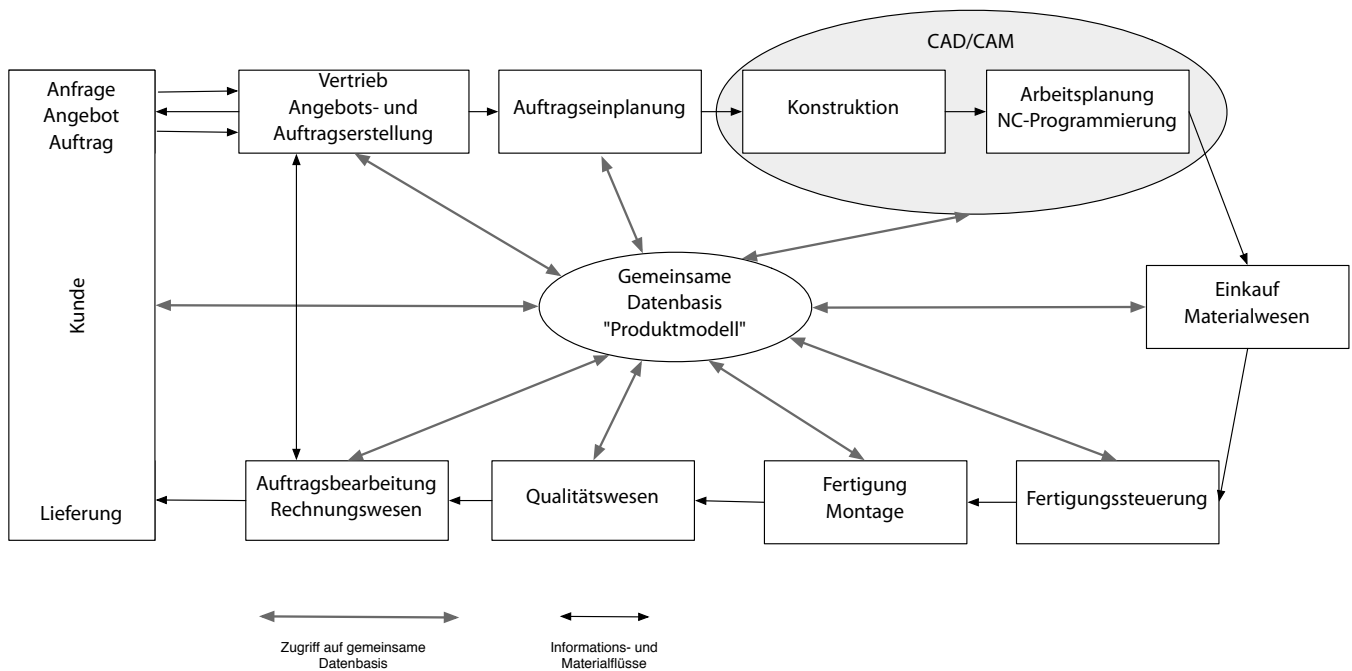
Computer Aided Design

Generative Fertigungsverfahren

Begriffe der C-Technik

CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAI	Computer Aided Industry
CAM	Computer Assisted Manufacturing
CAP(P)	Computer Aided (Production) Planning
CAQ	Computer Aided Quality Control
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CNC	Computerized Numeric Control
DMU	Digital Mock-Up
EDM	Engineering Data Management
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RP	Rapid Prototyping
VR	Virtual Reality

Integrierte Datenverarbeitung mit gemeinsamer Datenbasis



Quelle: Henning 1988

Einsatz von CAD in der Produktentwicklung

Planen

Konzipieren

- Festlegen von Teilfunktionen und Suchen nach Lösungsprinzipien sowie Bausteinen zur Erfüllung der Funktionen
- Kombinieren der Lösungsprinzipien/Bausteine zum Erfüllen der Gesamtfunktion
- Erarbeiten von Konzeptvarianten

Entwerfen/Gestaltung

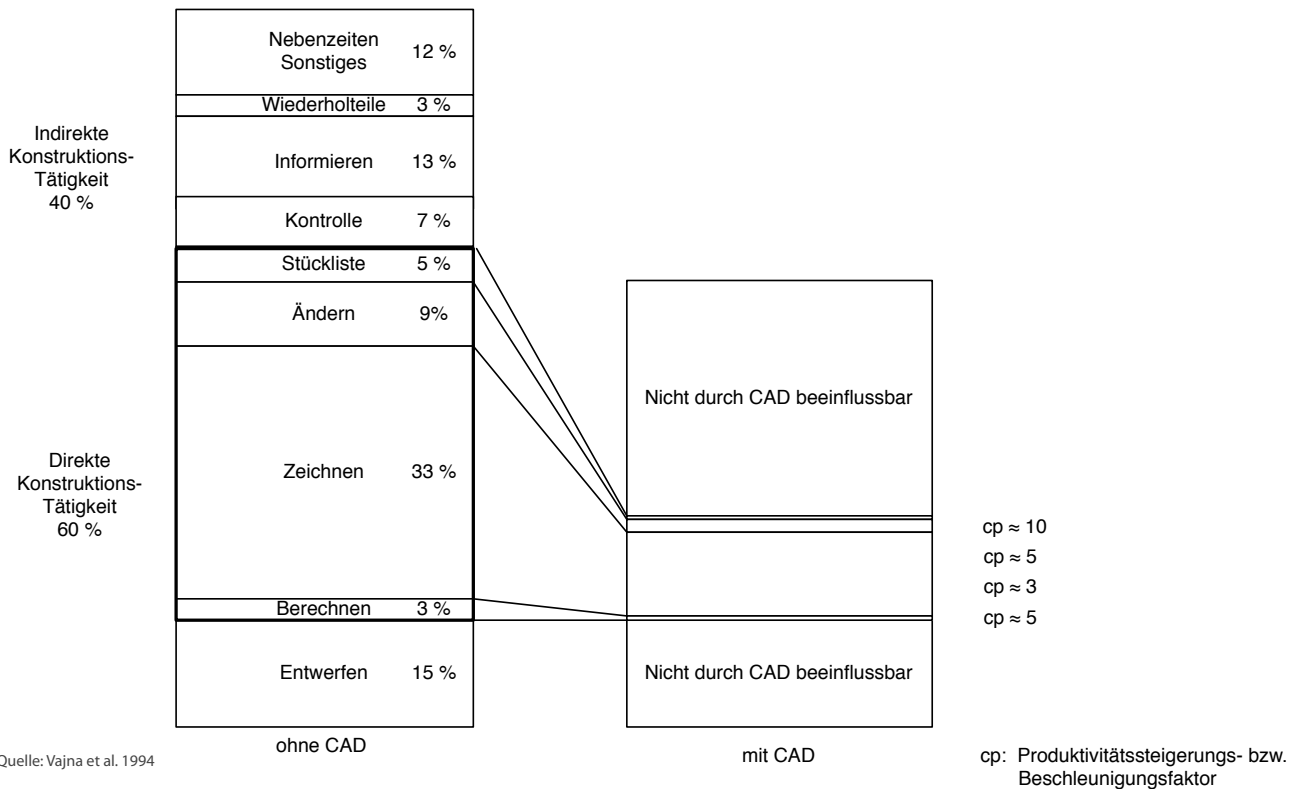
- Erstellen eines maßstäblichen Entwurfs
- Gestalten und Optimieren der Einzelteile

Ausarbeiten/Detaillierung

- Erstellung von Fertigungszeichnung
- Ableiten von Stücklisten
- Informieren (z. B. Lieferantzeichnungen, Projektmeetings, ...)
- Dokumentieren (z. B. Erstellung von Montageanleitungen, ...)

Quelle: nach VDI-Richtlinie 2222

Auswirkungen des CAD-Einsatzes auf Tätigkeitsprofile



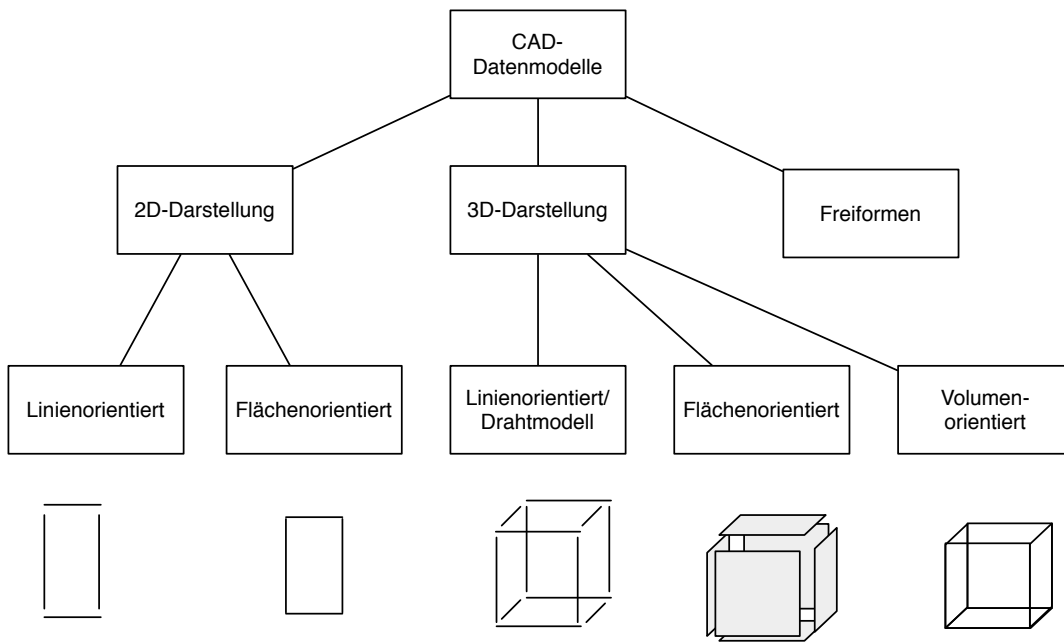
Konstruktion

Computergestützte Konstruktion

Computer Aided Design

Generative Fertigungsverfahren

CAD-Datenmodelle



2D-Modelle können beispielsweise durch Rotation oder Extrusion zu 3D-Modellen werden.

Quelle: Lobeck 2012

CAD-Beispiele

TOP VIEW

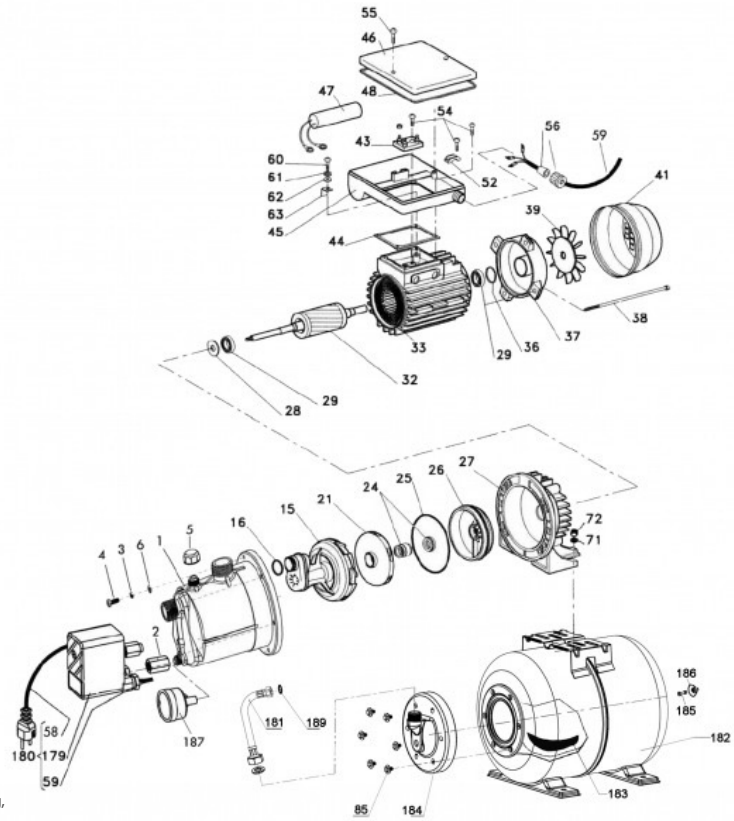
FRONT VIEW

3D VIEW

SIDE VIEW

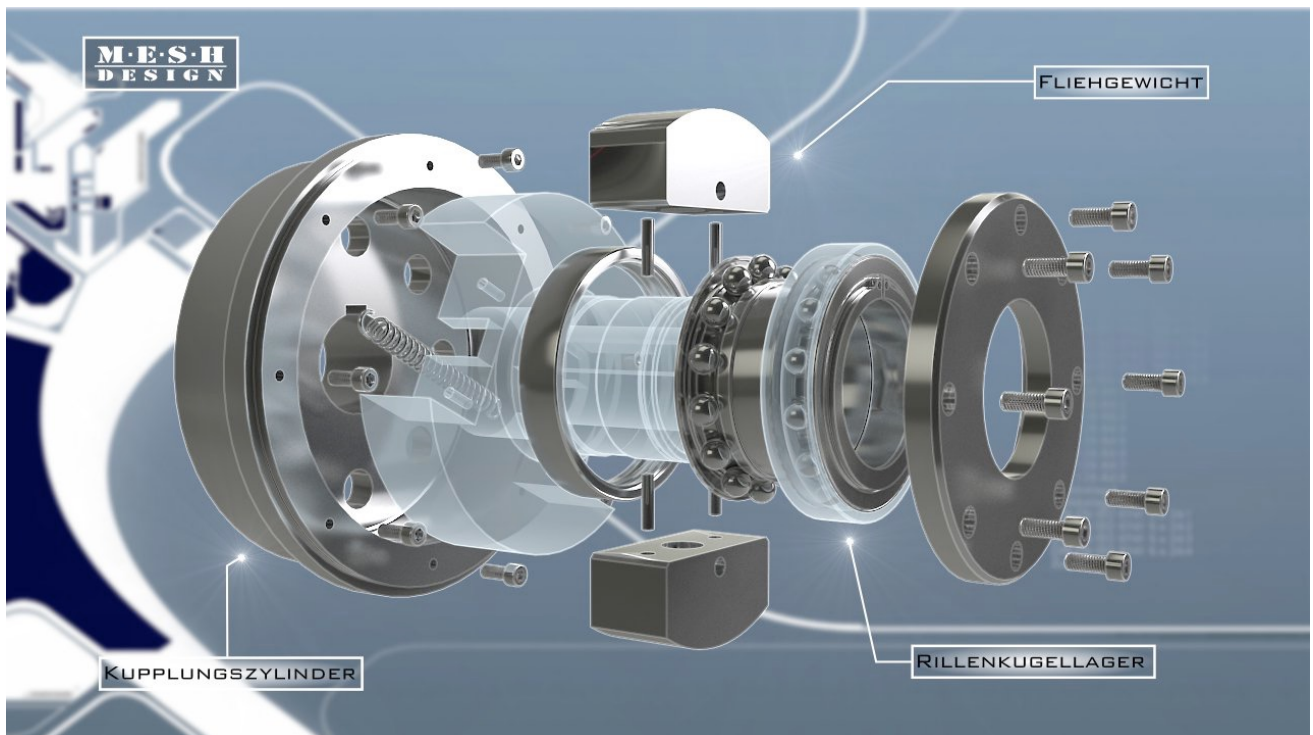
AutoCAD 3 3D Modeling	
PROJECT:	Practice
DRAWING TITLE:	Rod Support
DRAWN BY:	KB
DATE:	
SCALE:	1:1
CLASS:	CADDIS
CHECKED BY:	KB
DRAWING NUMBER:	M-1

Explosionszeichnung



Quelle: <http://shop.tip-pumpen.de/shopmedia/artikel/n/31202-hwk-46-42-18l.jpg>,
<http://shop.tip-pumpen.de/shopmedia/artikel/q/31202.jpg>

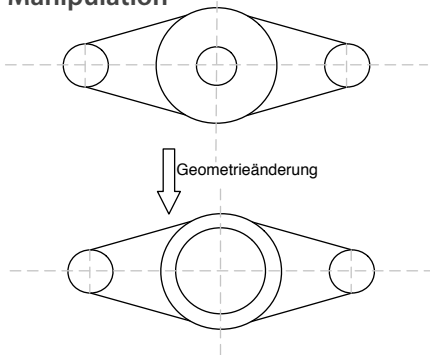
Rendering



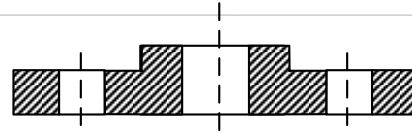
Quelle: http://www.ulrich-rapp.de/stoff/pc/cad/Fkk_gerendert.jpg

CAD-Grundfunktionen

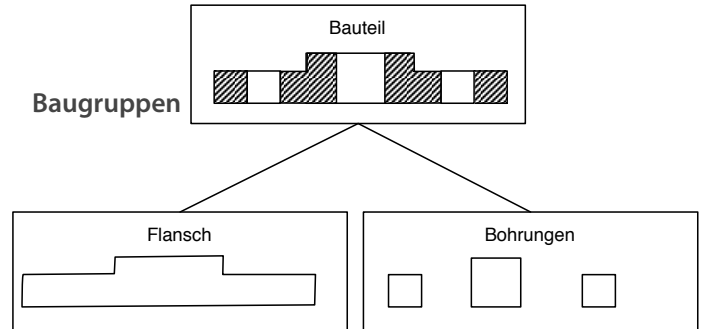
Manipulation



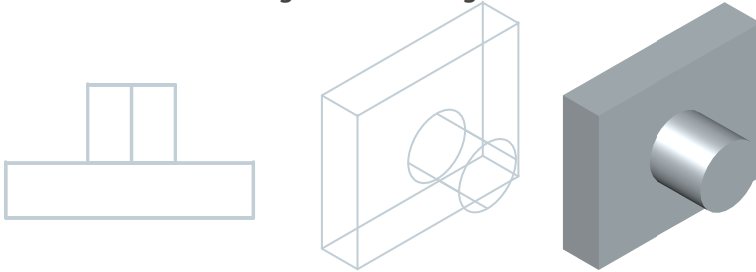
Schraffur



Baugruppen

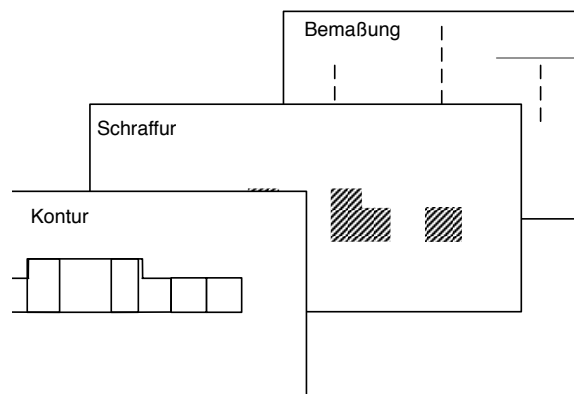


3D-Volumenmodellierung und Rendering

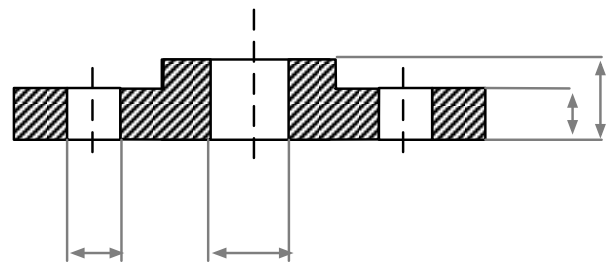


Weitere CAD-Funktionen

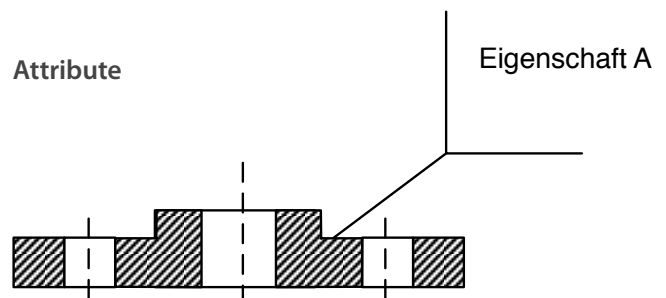
Ebenen-/Layertechnik



Bemaßung



Attribute



Zusätzliche Funktionen von CAD-Systemen

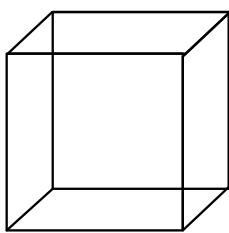
- Anbindung an NC-/ CNC-Systeme
- DXF- und DWG-Import
- Rasterbearbeitung mit Vektorisierung
- Hilfslinien und Konstruktionshilfen
- Automatische Umwandlung und Visualisierung von 2D- und 3D-Modellen
- Abbildung von Einzelteilen, Zusammenbauten, Präsentationen, Zeichnungen, begleitete Bauteile
- Materialmanagement
- Stücklistenmanagement
- Dokumentenverwaltung (DMS)
- Umfangreiche Bearbeitungsmöglichkeiten: Dehnen, Trimmen, Flächen erzeugen, Fangfunktion etc.
- Einhaltung von Unternehmens- und globalen Branchenstandards für technische Dokumente

DXF – Drawing Interchange Format

DWG – Zeichenformat für AutoCAD-Zeichnung (**drawing**)

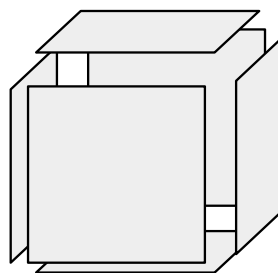
Quelle: <http://www.softguide.de/software-kriterien/cad#start>

Vergleich der 3D-Modelltechniken



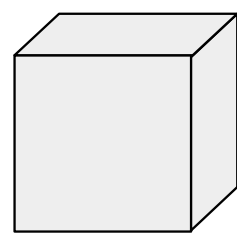
3D-Drahtmodell

- Mehrdeutigkeit
- Keine geometrische Integrität
- Keine physikalischen Eigenschaften
- Keine Kollisionsprüfung



3D-Flächenmodell

- Keine Richtung für Material
- Keine Flächenintegrität
- Praktisch keine physikalischen Eigenschaften
- Kollisionsprüfung nur über Flächendurchdringung



3D-Volumenmodell

- Richtung für Material
- Physikalische Eigenschaften exakt berechenbar
- Kollisionsprüfung möglich
- Bsp.: CSG- und BRep-Volumenmodelle

Quelle: Lobeck 2012

Boundary Representation (BRep)-Modell

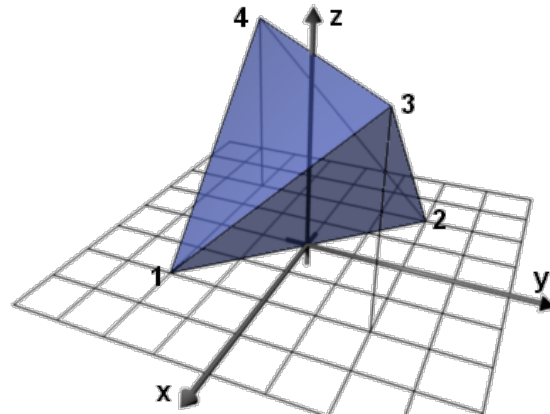
Beim BRep-Modell wird das Volumen durch die umhüllenden Begrenzungsflächen sowie die Lage des Materials relativ zu den Begrenzungsflächen beschrieben. Es ist ein um Materialvektoren erweitertes Flächenmodell.

Knotennr.	x	y	z
1	2	-2	0
2	-2	2	0
3	2	2	4
4	-2	-2	4

Kantennr.	Knotennr. 1	Knotennr. 2
1	1	2
2	2	3
3	1	4
4	1	4
5	2	4
6	3	4

Flächennr.	Kantenfolge (Kantennr. 1-3)
1	1 2 3
2	3 6 4
3	2 5 6
4	1 4 5

Volumennr.	Orientierung	Begrenzungsflächen (Flächennr. 1..x)
1	1	1 2 3 4



Quelle: Lobeck 2012

Bewertung BRep-Modell

Vorteile

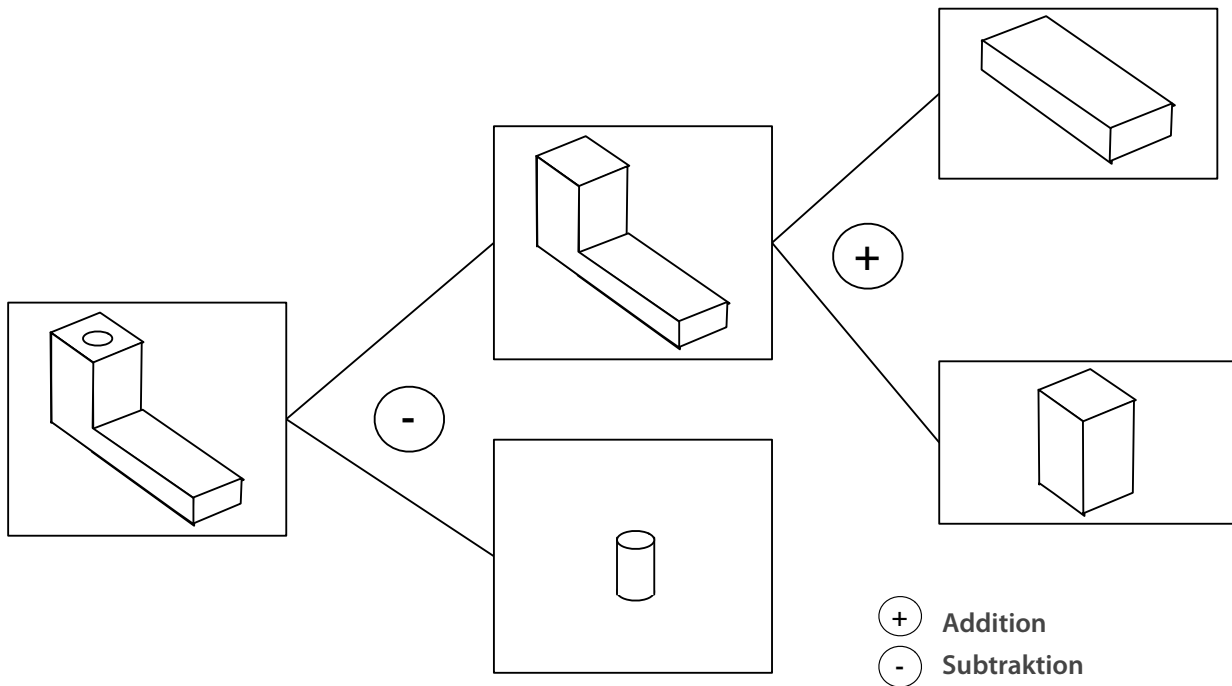
- Gewährleistung von Abgeschlossenheit und Konsistenz durch Algorithmen
- Darstellung eines expliziten und vollständigen Abbildes der Geometrie
- Möglichkeit der direkten Ansprache aller geometrischen Elemente im Modell
- Möglichkeit der Verwendung beliebig geformter Volumenelemente
- Keine Beschränkung auf Grundelemente (siehe CSG-Modell)
- Keine ständige Neuberechnung des gesamten Modells notwendig

Nachteile

- Notwendigkeit der erneuten Überprüfung der Volumenkonsistenz nach jeder Operation
- Hoher Speicherplatzbedarf
- Keine Information über die Beschreibungshistorie
- Keine Möglichkeit der Beschreibbarkeit offener Körper

Quelle: Lobeck 2012

Constructive Solid Geometry (CSG)-Modell



Quelle: Lobeck 2012

Bewertung des CSG-Modells

Vorteile

- Gewährleistung der Modellkonsistenz
- Geringer Eingabeaufwand
- Geringer Speicherbedarf
- Leichte Überführung in andere Geometriemodelle
- Möglichkeit, alle Elemente in ihrer Gesamtheit zu manipulieren

Nachteile

- Notwendigkeit der erneuten Evaluierung eines Modells bei erneutem Bildaufbau
- Schwierige Einbeziehung von Freiformflächen
- Informationen über wirkliche Flächen und Kanten des Objektes nicht speicherbar
- Einzelne Elemente des Volumens lassen sich nur schwer manipulieren

Quelle: Lobeck 2012

Vergleich CSG- vs. BRep-Datenstruktur

BRep-Datenstruktur

Gespeicherte Daten

- Geometrische Primitive des Objekts
- Relationen

Charakteristika

- Explizite Datenstruktur
- Komplexe Netzwerkstruktur
- Elemente des modellierten Objektes direkt manipulierbar
- Möglichkeit des Anbringens technologischer Informationen an beliebige Elemente des Objekts
- Keine Informationen über Verknüpfungshistorie

CSG-Datenstruktur

Gespeicherte Daten

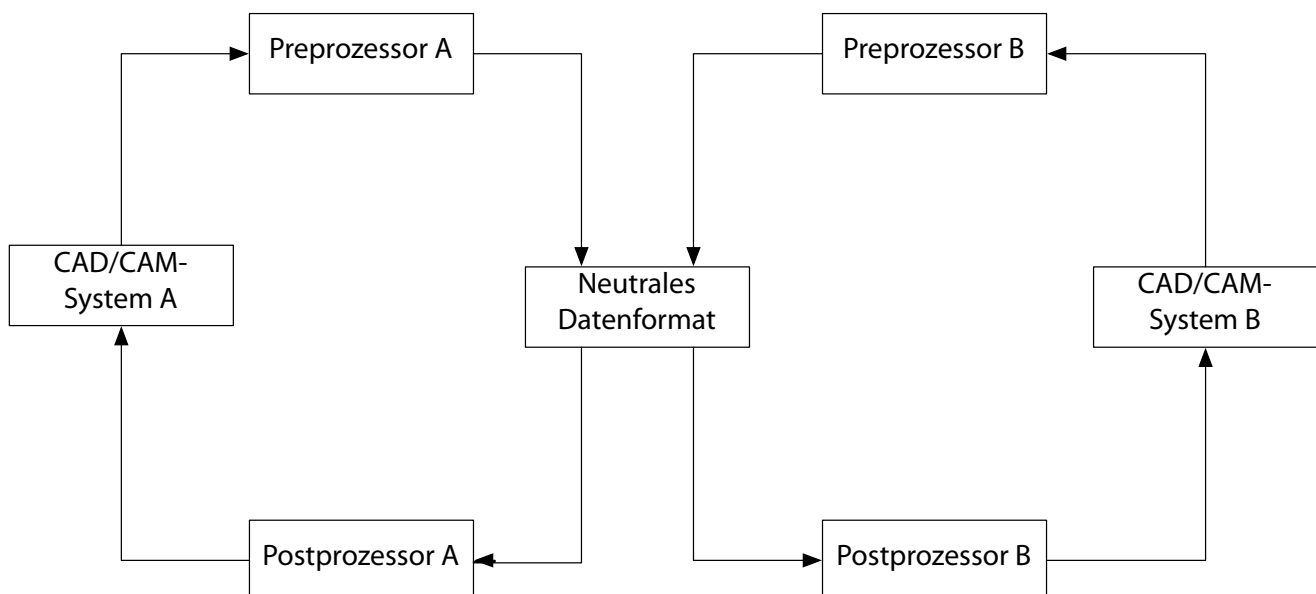
- Volumenprimitive mit Transformationen
- Verknüpfungshistorie mittels Booleschen Operationen

Charakteristika

- Implizite, nicht evaluierte Datenstruktur
- Binäre Baumstruktur mit kompakter Speicherung
- Alle Elemente in ihrer Gesamtheit manipulierbar, wobei jedes für sich seine autonome Existenz behält
- Keine Informationen über wirkliche Flächen und Kanten des Objekts

Quelle: Lobeck 2012

Datenaustausch zwischen CAD-Systemen



Durch Austauschformate können verschiedene Module der virtuellen Fabrik miteinander verknüpft werden. Redundanzen und Informationsverluste werden verringert und eine Änderungshistorie ermöglicht.

Quelle: Lobeck 2012

Datenaustauschformate

ACIS

- Realisierung komplexer Freiflächen auf Basis von Non-uniform rational B-Splines
- Möglichkeit der Erweiterung um Attribute (komplexe Objekte)

STEP: Standard for the Exchange of Product Model Data

- Internationale Norm
- Definition eines Produktmodellschemas mit Übertragungs- und Archivierungsformaten
- Definiert in ISO 10303

DXF: Drawing Interchange Format

- ASCII-Austauschformat von AutoCAD
- Konvertierung von 2D- und 3D-Geometrien sowie Zeichnungselementen
- Dimensionslos

STL: Stereolithographie Language

- Austausch von Geometriedaten zwischen CAD-Systemen und Rapid-Prototyping-Maschinen
- Basiert auf Triangulationsverfahren

IGES: Initial Graphics Exchange Specification

- Übertragung von Produktinformationen
- Beschreibung der Flächen erfolgt analytisch oder approximativ durch Freiformflächen

VDA-FS: Verband der deutschen Automobilhersteller – Flächenschnittstelle

- Austausch reiner Gestaltdaten
- Basiert auf der topologischen Verknüpfung von Freiformflächen

Quelle: Lobeck 2012, Rudolph/Dietrich 2003

STEP – Standard for the Exchange of Product Model Data

Allgemein

- ISO (International Standardization Organization) 13030
- Standard zur Beschreibung von Produktdaten
- Modulare Definition ermöglicht nutzerspezifische Anpassung (Unternehmens- oder Branchenspezifikation)
- Objektorientierung

Anwendungsbereiche

- Computer Aided Design (CAD)
- Computer Aided Manufacturing (CAM)
- Produktdatenmanagement (PDM)
- Digital Mock-Up (DMU)
- und weitere...

Umfang

- Funktionale und physische Aspekte eines Produkts
- Abbildung von Produktdateninformationen des gesamten Lebenszyklus
- Beschreibung produktdefinierender Daten (sowohl geometrisch als auch nicht-geometrisch)

Anwendungszwecke

- Datenaustausch mittels sequentieller Dateien
- Datenbankimplementierungen
- Langzeitarchivierung

Quelle: ISO 13030

STEP-Bestandteile

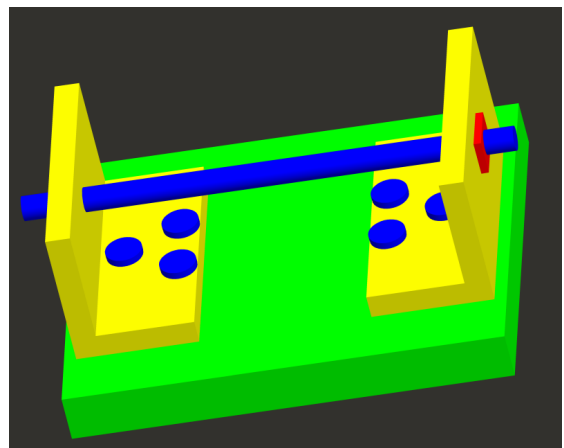
Beschreibungsmodelle	Generische Ressourcen	Anwendungsprotokolle
11 EXPRESS-Beschreibungssprache 13 STEP-Entwicklungsmethode	41 Grundlagen der Produktbeschreibung 32 geometrische und typologische Repräsentationen 43 Präsentationsstrukturen 44 Produktstrukturen 45 Materialien 46 Visuelle Präsentation 47 Gestalttoleranzen 49 Prozeßstrukturen	201 Explizite Zeichnungen 203 Baugruppenkonstruktion 212 Elektrotechnische Anlagen 213 NC-Arbeitspläne für maschinelle Bauteile 214 Kerndaten für mechanische Konstruktionsprozesse für Automobile 224 Produktbeschreibung für die Prozeßplanung 226 mechanische Systeme von Schiffen
Anwendungsorientierte Basismodelle	Konformitätstests	Integrierte anwendungsbezogene Konstrukte
101 Zeichnung 102 Schriftstrukturen 103 Elektrik/Elektronik 104 Finite-Element-Analyse 105 Kinematik 106 Kernmodell für Baukonstruktionen	31 Generelle Konzepte 32 Anforderungen an die Testumgebungen	501 Drahtmodell 512 Facettenmodell 514 Randflächenmodell 515 CSG-Darstellung
Implementierungsmethoden	Abstrakte Testfälle	
21 Austauschstrukturen auf Textbasis 22 Spezifikation der Standard-Zugriffsschnittstelle	301 ATS für explizites Zeichnen 303 ATS für Baugruppenkonstruktion	

Quelle: ISO 13030

Auszug aus einer STEP-Datei

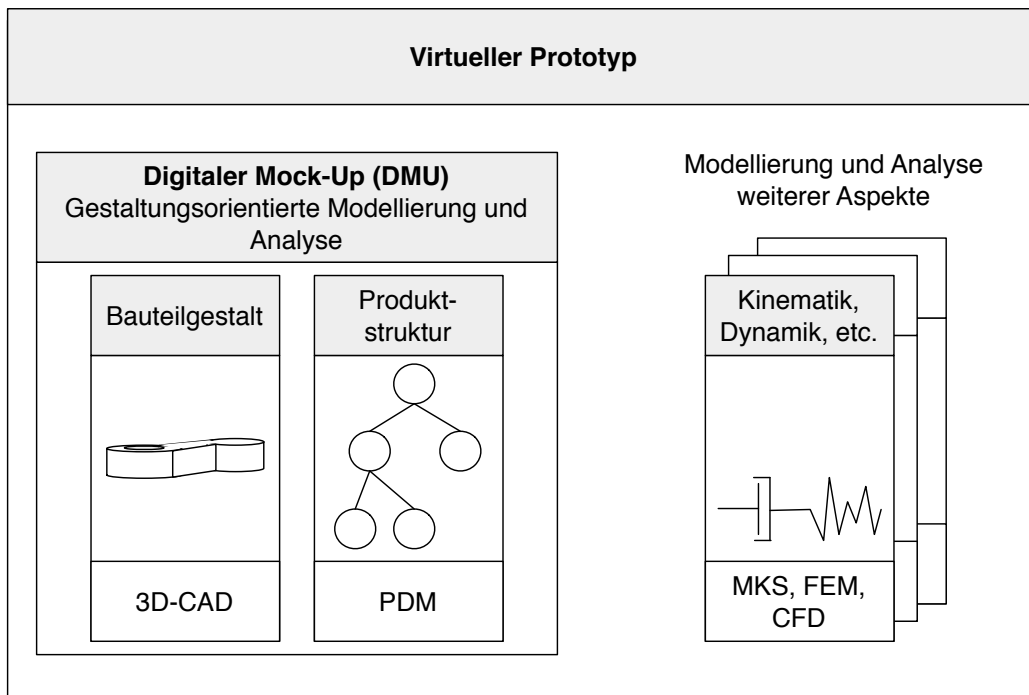
```
#1 = APPLICATION_PROTOCOL_DEFINITION('international standard', 'automotive_design',2000,#2);
#2 = APPLICATION_CONTEXT('core data for automotive mechanical design processes');
#3 = SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#4,#10);
#4 = PRODUCT_DEFINITION_SHAPE('';#5);
...
#7 = PRODUCT('as1',as1'';(#8));
#8 = PRODUCT_CONTEXT('';#2,'mechanical');
#9 = PRODUCT_DEFINITION_CONTEXT('part definition',#2,'design');
#10 = SHAPE_REPRESENTATION('';(#11,#15,#19,#23,#27),#31);
#11 = AXIS2_PLACEMENT_3D('';#12,#13,#14);

#147 = PCURVE('';#148,#153);
#148 = PLANE('';#149);
#149 = AXIS2_PLACEMENT_3D('';#150,#151,#152);
#150 = CARTESIAN_POINT('';(10.,15.,0.E+000));
#151 = DIRECTION('';(0.E+000,1.,0.E+000));
#152 = DIRECTION('';(0.E+000,0.E+000,1.));
#153 = DEFINITIONAL_REPRESENTATION('';(#154),#158);
#154 = LINE('';#155,#156);
#155 = CARTESIAN_POINT('';(3.,0.E+000));
#156 = VECTOR('';#157,1.);
```



Quelle: <https://www.cax-if.org>

Virtueller Prototyp und Digitaler Mock-Up



Quelle: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/> PDM – Produktdatenmanagement CFD – Computational Fluid Dynamics (Strömungssimulation)
MKS – Mehrkörpersimulation FEM – Finite Elemente Methode (Festigkeitsberechnung)



Konstruktion
Computergestützte Konstruktion
Computer Aided Design
Generative Fertigungsverfahren

Anforderungsabhängige Einteilung generativer Fertigungsverfahren

Rapid Prototyping

- Generative Herstellung von Bauteilen mit eingeschränkter Funktionalität

Rapid Tooling

- Generative Methoden und Verfahren zum Bau von Werkzeugen und Formen

Rapid Manufacturing

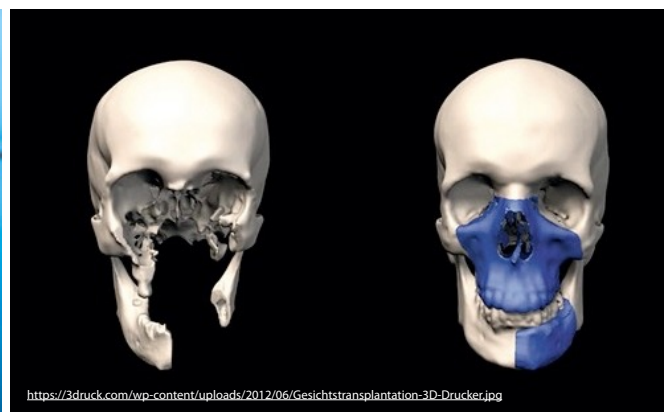
- Generative Herstellung von Endprodukten



Bei generativen Fertigungsverfahren wird das Werkstück element- oder schichtweise aufgebaut, Unterschiede in den Verfahren liegen beispielsweise in dem verwendeten Material oder der Schichtdicke.

Quelle: VDI 3404

Eigenschaften generativer Fertigungsverfahren

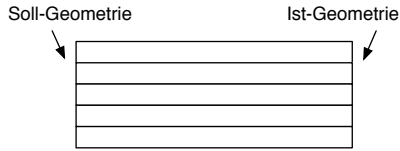


- Direkte Schichtengenerierung aus rechnerinterner Darstellung (3D-CAD)
- Keine NC-Programmierung notwendig
- Vermeidung von Werkzeug-Kollision
- Prinzipielle Herstellbarkeit beliebiger Geometrien
- Lokale Schaffung von Werkstoffzusammenhalt

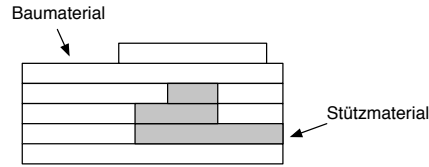
Quelle: Uhlmann 2008

Schichtenaufbau

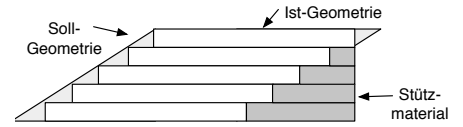
Vertikaler Modellaufbau, einfache Geometrie



Modellaufbau mit Hohraum

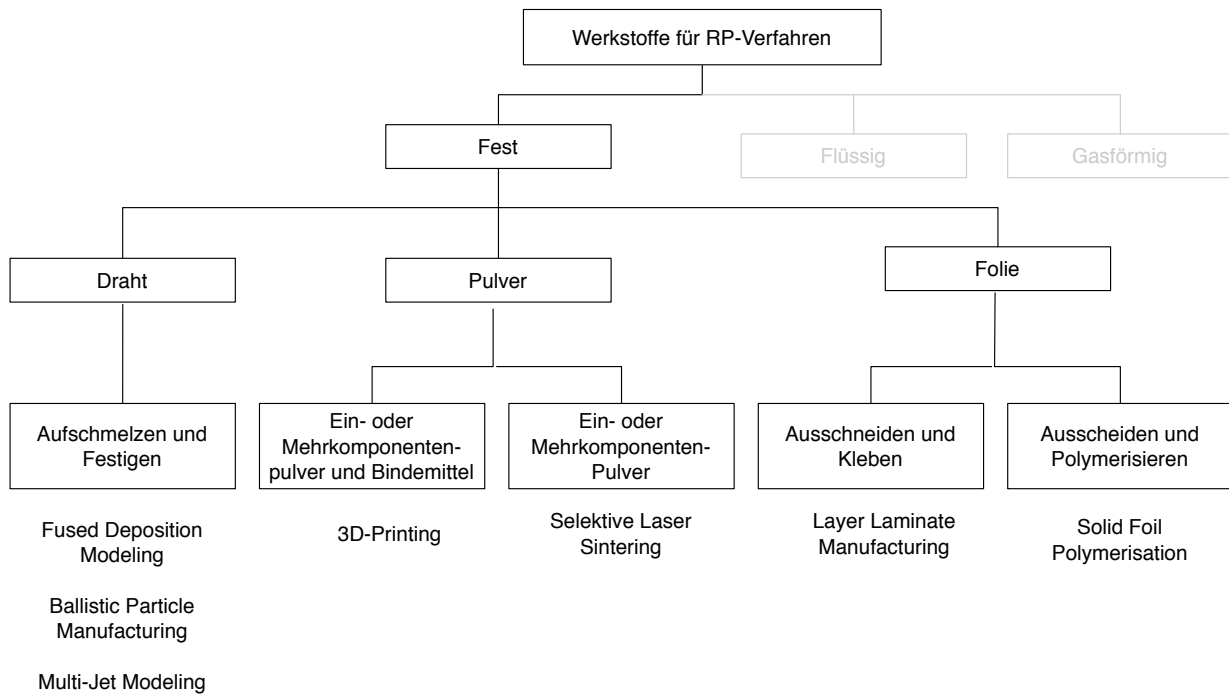


Modellaufbau mit Überhang



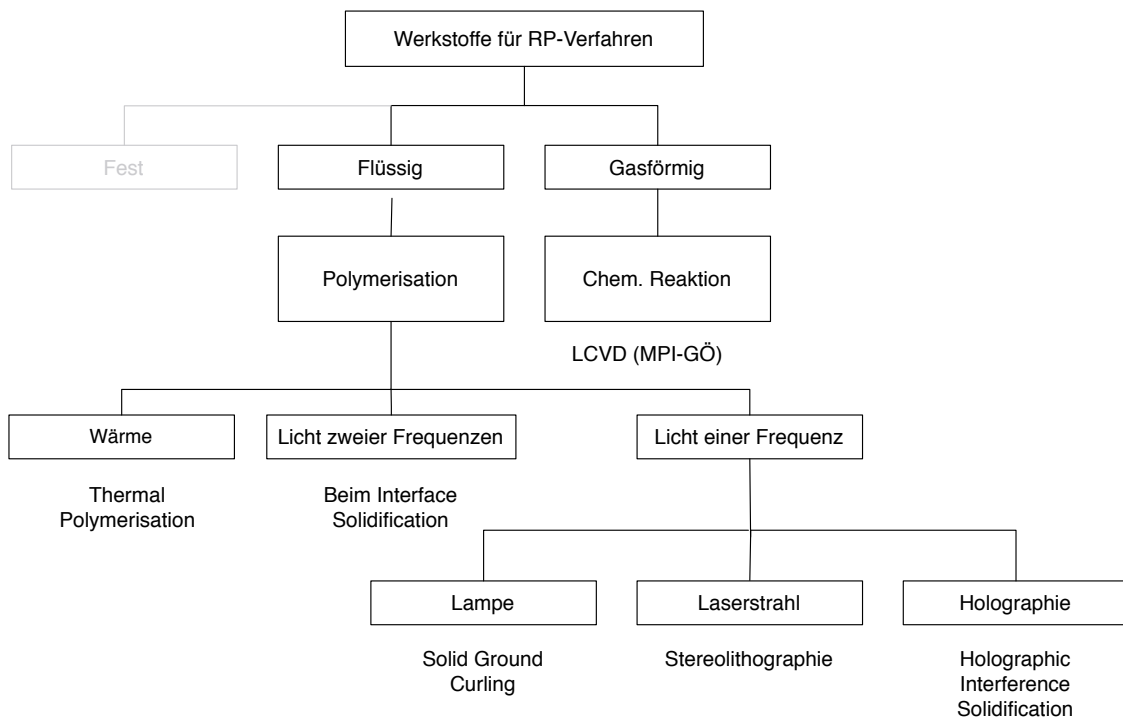
Quelle: Uhlmann 2008

Einteilung generativer Fertigungsverfahren (fest)



Quelle: Gebhardt 2013

Einteilung generativer Fertigungsverfahren (flüssig und gasförmig)



Quelle: Gebhardt 2013

Industriell relevante Rapid Prototyping Verfahren

Deutsche Bezeichnung	Englische Bezeichnung	Abkürzung
Stereolithographie	Stereolithography	SLA
Selektives Laser Sintern	Selective Laser Sintering	SLS
3D-Druckverfahren	3D Printing	3DP
Extrusionsverfahren	Fused Deposition Modeling	FDM
Ballistische Verfahren	Ballistic Particle Manufacturing	BPM
Schicht-Laminier-Verfahren	Layer Laminate Manufacturing	LLM

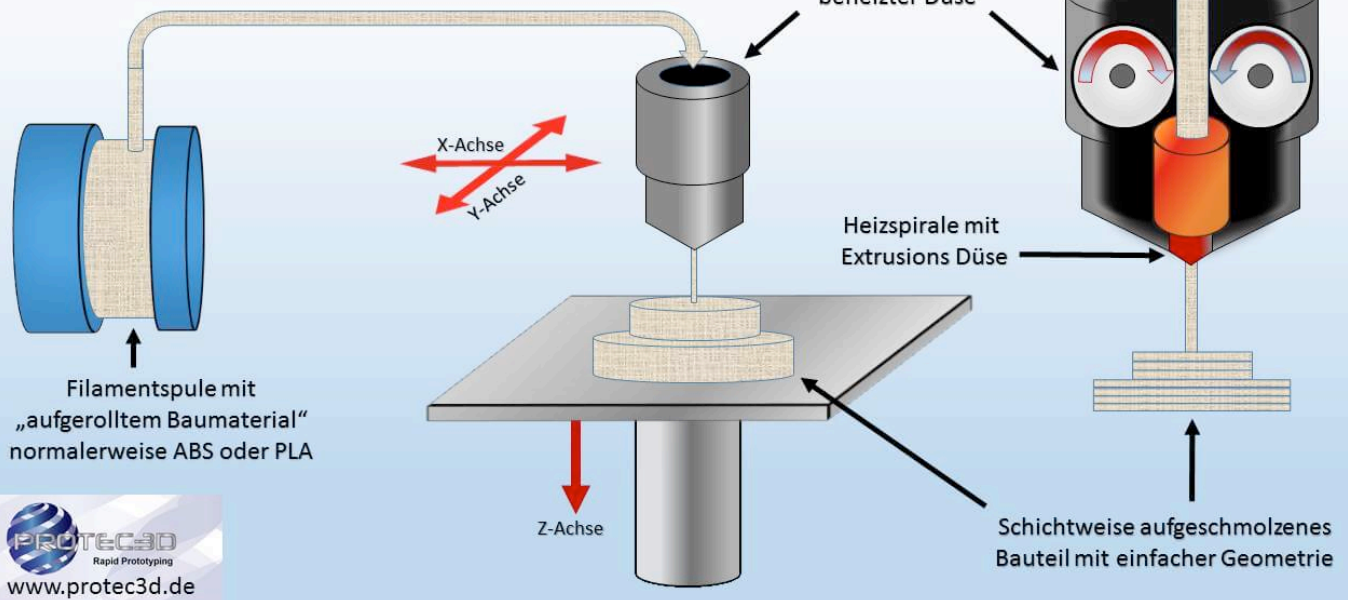
Quelle: Uhlmann 2008

Fused Deposition Modeling

FDM – Schmelzschichten

Druckkopf mit einer beheizten Düse

Materialeinzug durch angetriebene Rollen



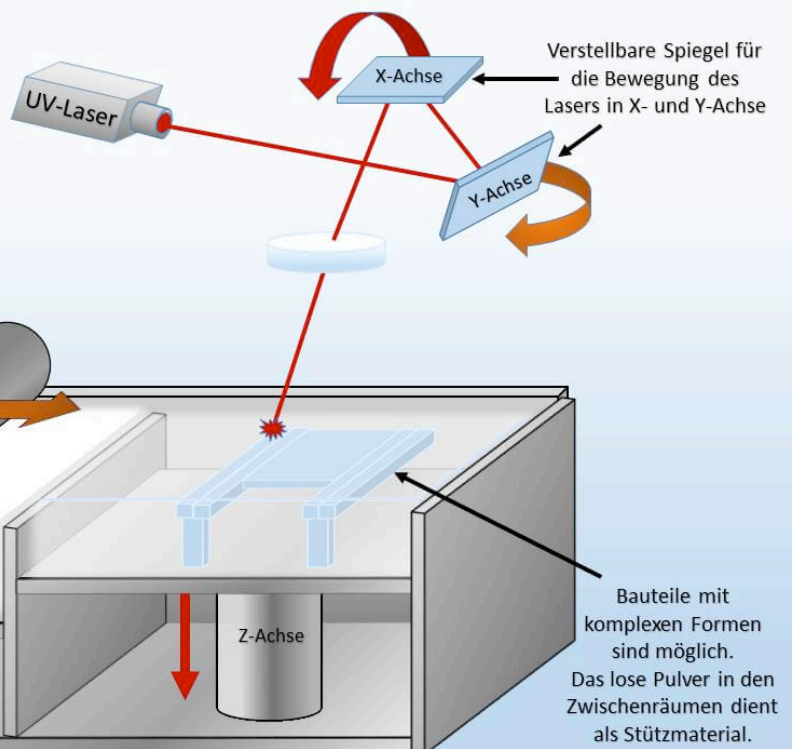
Selective Laser Sintering

SLS Lasersintern

Pulver wird durch einen Laser verfestigt

Die Pulverrolle legt bei jedem Bauschritt eine neue dünne Pulverschicht von der Versorgungsplattform auf dem Bauraum auf

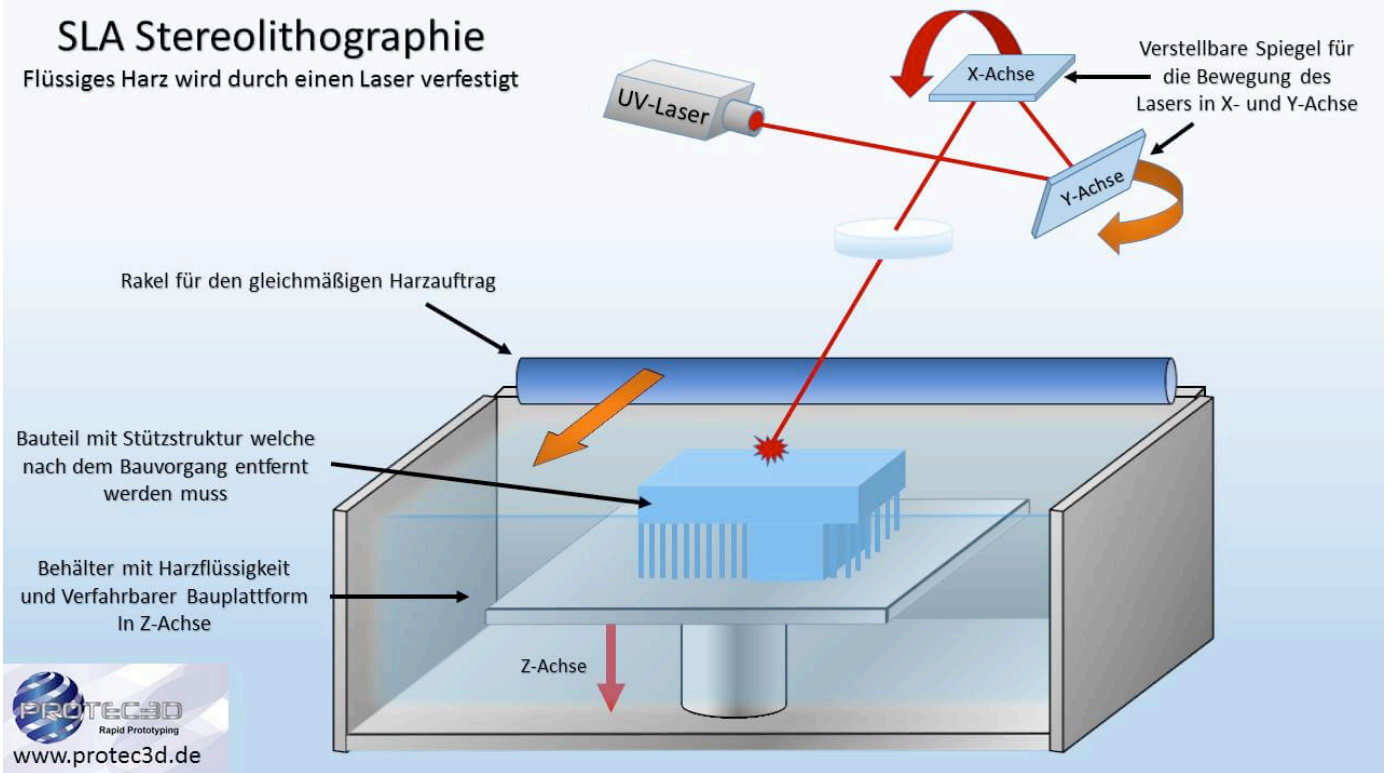
Versorgungsplattform mit Pulver befüllt



Stereolithographie

SLA Stereolithographie

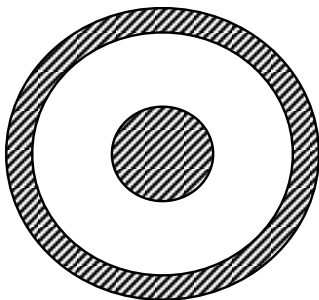
Flüssiges Harz wird durch einen Laser verfestigt



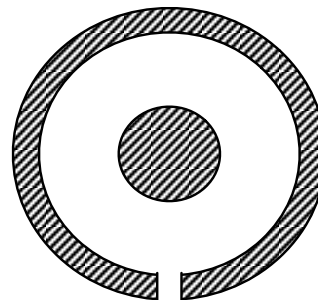
Herausforderungen

- Treppenstufeneffekt
- Abfluss von Füllmaterial
- Kombination verschiedener Materialien
- Oberflächenstruktur

Fertigung einer "Kugel in der Kugel"



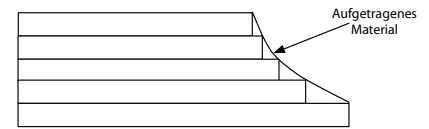
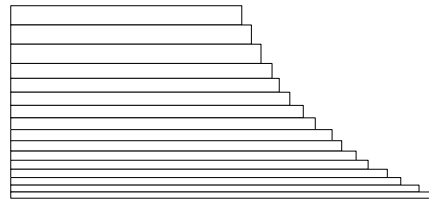
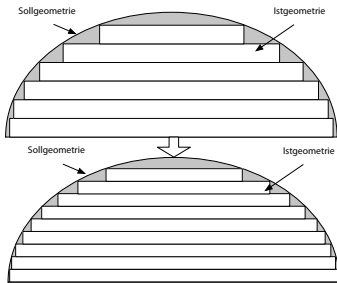
Herausforderung beim RP:
Wie kann das Stützmaterial entfernt werden?



Lösung: kleine Öffnung

Geometrieapproximierung

Problem: Treppenstufeneffekt durch diskrete Schichten



Verringerung der Schichtdicken

- Erhöhung der Schichtdicken
- Verlängerung der Bauzeit

Adaptive Slicing

- Verwendung unterschiedlicher Schichtdicken an einem Objekt
- Dünne Schichten werden da verwendet, wo sie notwendig sind

Beschichten/Nachbearbeiten

- Durch das Auftragen von zusätzlichem bzw. das Abtragen von überschüssigem Material werden die Stufen geglättet

Quelle: Dreher

Verständnisfragen

1. Beschreiben Sie kurz, was ein Digital Mock-Up ist und welchen Zweck dieses erfüllt.
2. Welchen Nutzen haben neutrale Datenaustauschformate zwischen CAD-Systemen? Nennen Sie Beispiele!
3. Was sind generative Fertigungsverfahren und wie funktioniert das grundlegende Prinzip?
4. Welcher Effekt kann durch die Verwendung diskreter Schichten bei generativen Fertigungsverfahren auftreten und warum ist dieser ungewollt? Nennen Sie Möglichkeiten, um den Effekt zu verringern!

Literatur

- Gebhardt, A.: Generative Fertigungsverfahren – Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping – Tooling – Produktion. Carl Hanser Verlag, 2013.
- Henning, K.: CAD-Technologie: Entscheidungskriterien für den wirtschaftlichen Einsatz in der Konstruktion. Hüthing, 1988.
- Hoischen, H.; Hesser, W.: Technisches Zeichnen. Grundlagen, Normen, Beispiele. 35. Auflage. Cornelsen, 2016
- ISO 13030: Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange
- Lobeck, F.: Vorlesungsskript: CAD/CAE (CAD), 2012
- Roloff/Matek: Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung, 2011.
- Rudolph F.-N., Dietrich, J.: Praktischer Einsatz von CAD- und EDM/PDM-Systemen Teil III. In CAD-CAM Engineering Report, Nr. 6 Juni 2003.
- Uhlmann, E.: Rapid Prototyping. Vorlesungsskript: 2008
- Vajna, S.: CAD/CAM für Ingenieure. Hardware, Software, Strategien. Vieweg, Braunschweig, 1994.
- VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1:Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien.