



Internet of Things / Industrial Internet

Computer Aided Design



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



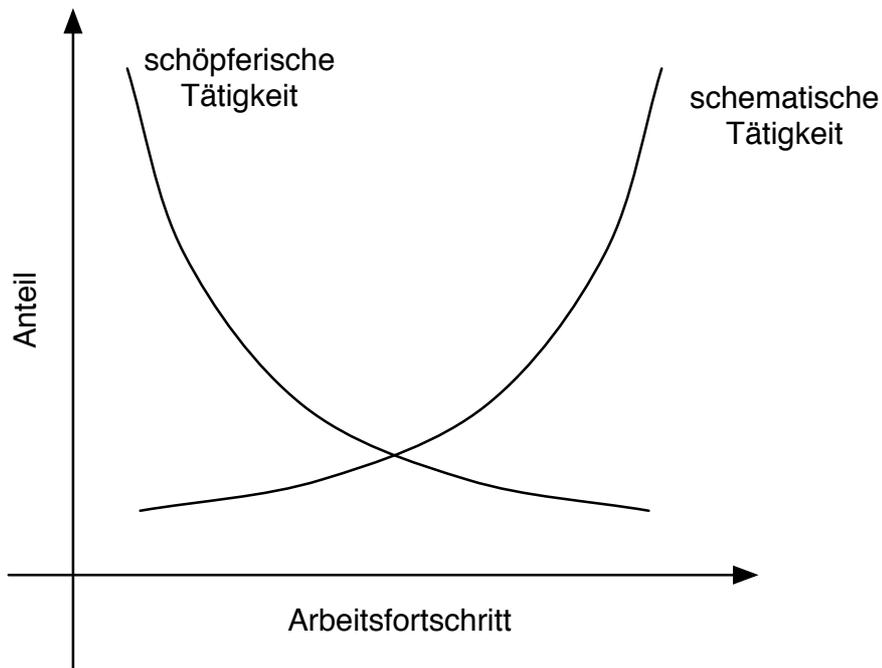
Konstruktion

Computergestützte Konstruktion

Computer Aided Design

Rapid Prototyping/Generative Fertigungsverfahren

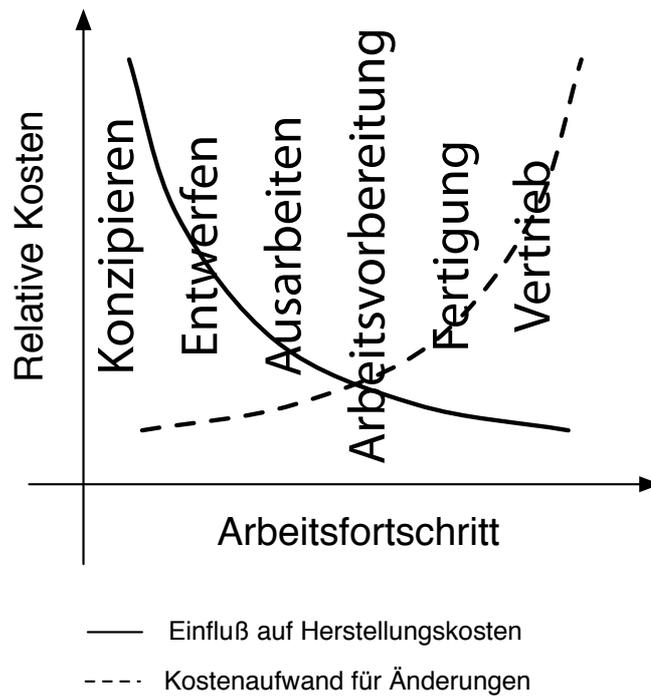
Tätigkeitsarten in der Produktentstehung



Quelle: Roloff/Matek 2011

3

Kostenbeeinflussung



Quelle: Roloff/Matek 2011

4

Konstruktionsarten

Konstruktionsarten		Konstruktionsphasen			
		Konzipieren		Entwerfen	Ausarbeiten
Gruppenbegriffe	Gebäuchliche Begriffe	Funktionsfindung	Prinzip-erarbeitung	Gestaltung	Detaillierung
Neukonstruktion	Neukonstruktion				
	Entwicklungskonstruktion				
	Angebotskonstruktion				
Anpassungs-konstruktion	Anpassungskonstruktion				
	Angebotskonstruktion				
	Fertigungskonstruktion				
	Änderungskonstruktion				
Varianten-konstruktion	Variantenkonstruktion				

Quelle: Hoischer, Hesser 2005



Konstruktion

Computergestützte Konstruktion

CAD

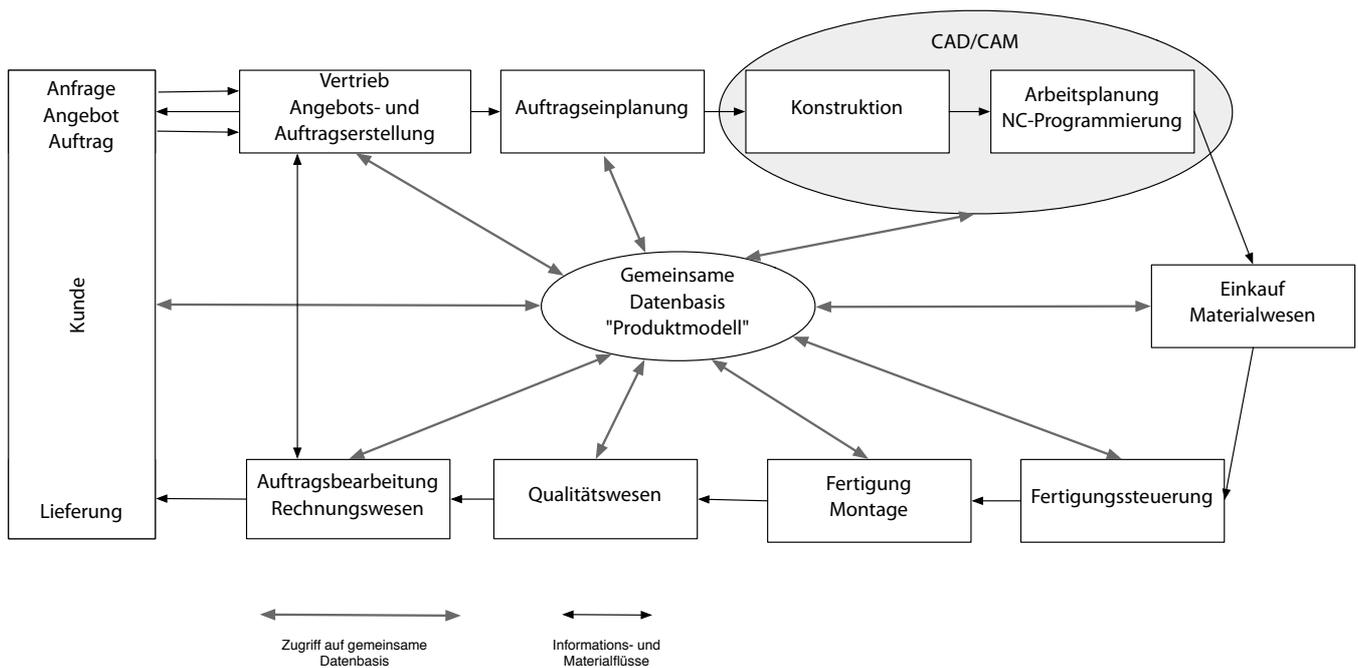
Rapid Prototyping/Generative Fertigungsverfahren

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) Planing
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	Production Planning System
RP	Rapid Prototyping
VR	Virtual Reality

7

Integrierte Datenverarbeitung mit gemeinsamer Datenbasis



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

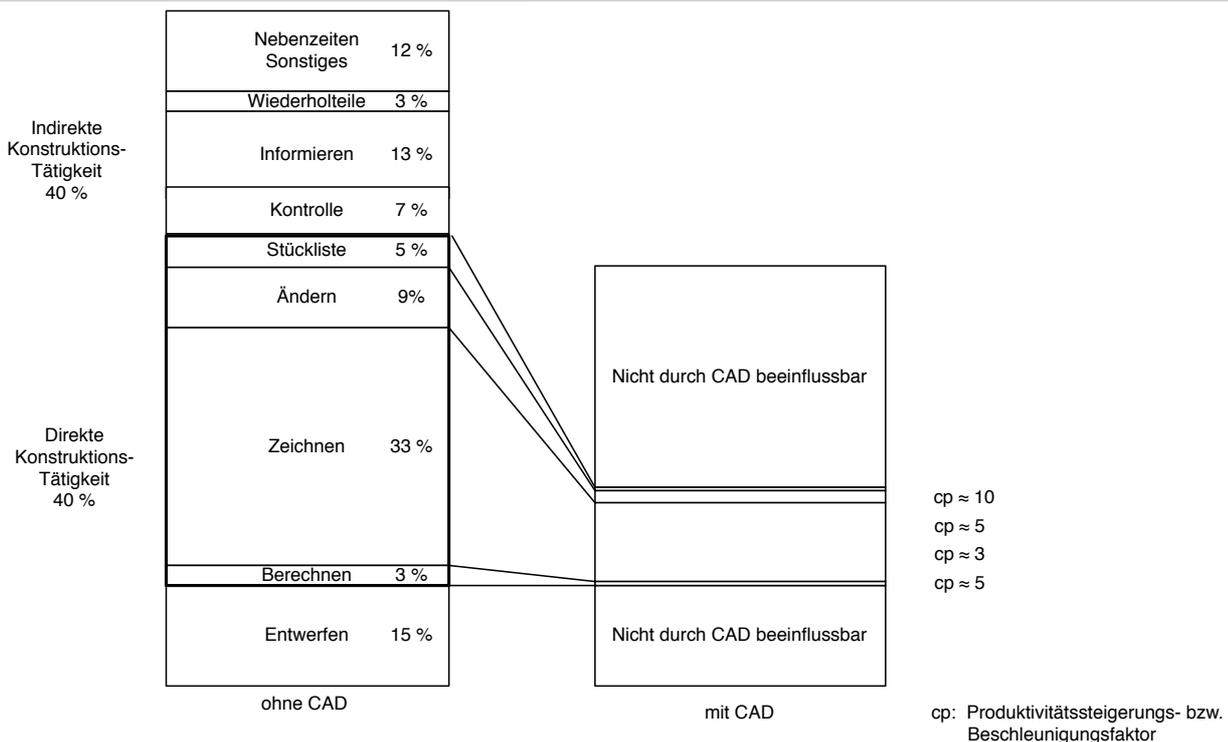
- Erstellen eines maßstäblichen Entwurfs
- Gestalten und Optimieren der Einzelteile

Ausarbeiten/Detaillierung

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

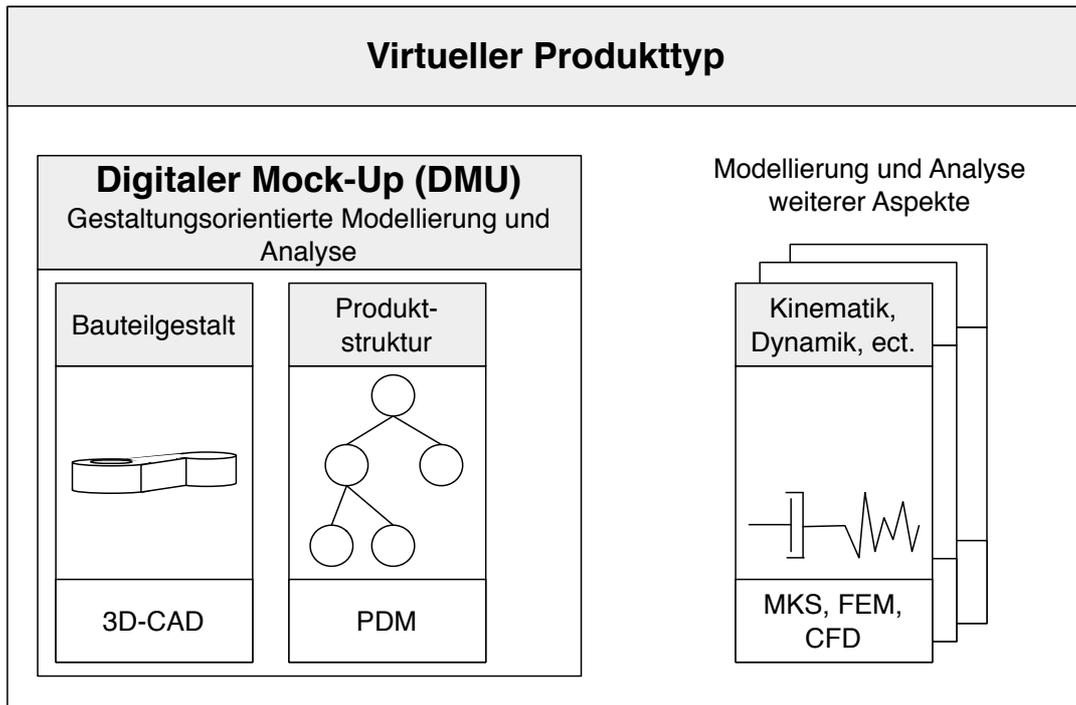
Quelle: nach VDI-Richtlinie 2222

Auswirkungen des CAD-Einsatzes auf Tätigkeitsprofile



Quelle: Vajna et al. 1994

Virtueller Produkttyp und Digitaler Mock-Up



Quelle: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/>

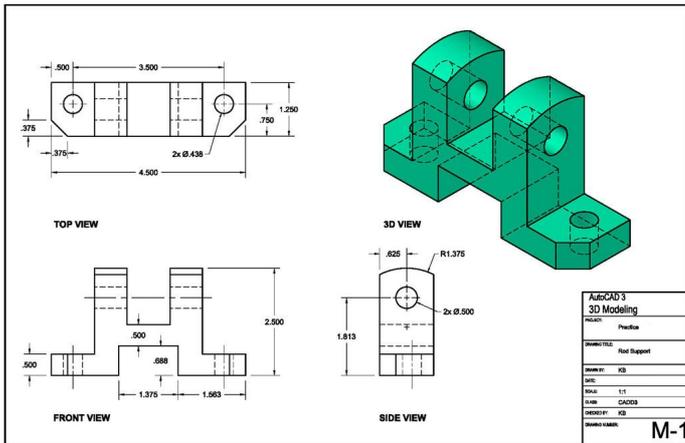
11

MKS - Mehrkörpersimulation
CFD - Computational Fluid Dynamics (Strömungssimulation)
FEM - Finite Elemente Methode (Festigkeitsberechnung)

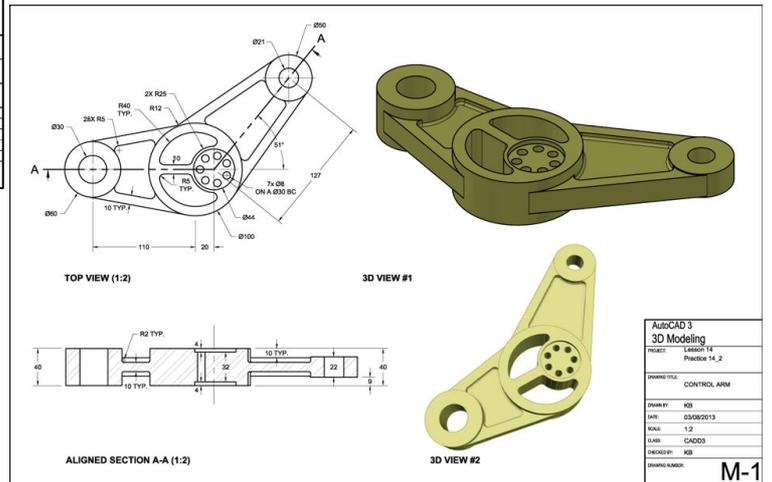


Konstruktion
Computergestützte Konstruktion
Computer Aided Design
Rapid Prototyping/Generative Fertigungsverfahren

CAD-Beispiele

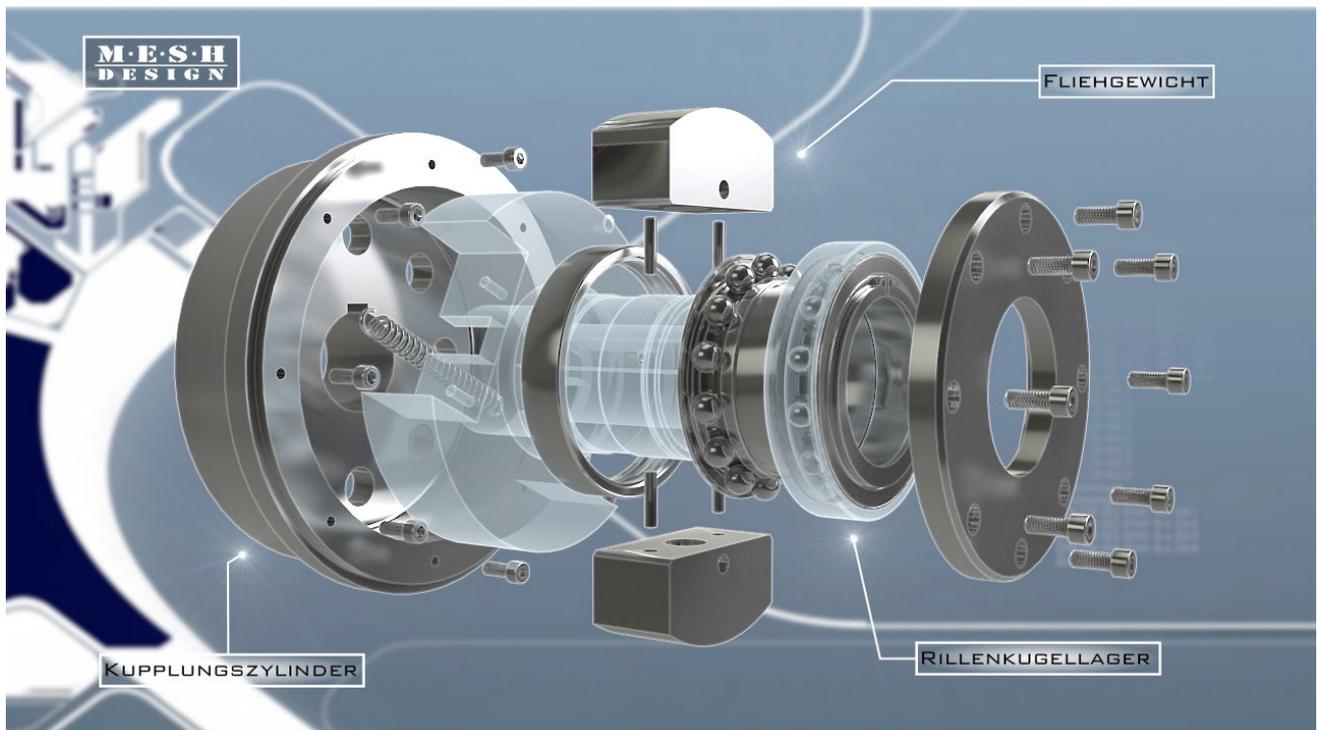


<https://www.caddtrain.com/wp-content/uploads/2015/02/AutoCAD-3D-Modeling-Course-3-Basic-Sample-4-1280.jpg>



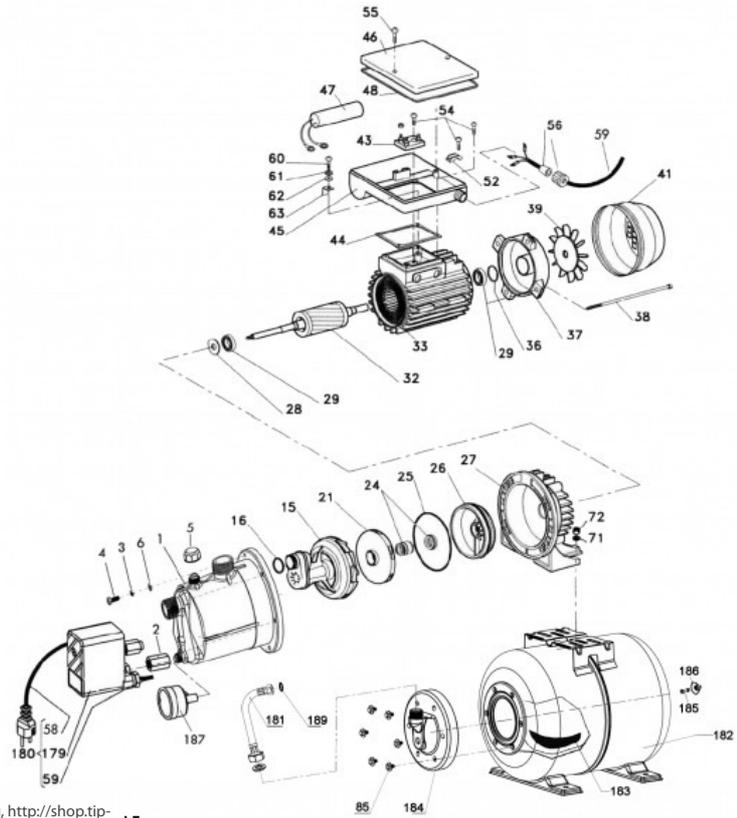
<http://protraincad.com/wp-content/uploads/2013/12/AutoCAD-3-3D-Sample-Mechanical-Drawing-960.png>

CAD-Beispiele



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

CAD-Beispiele



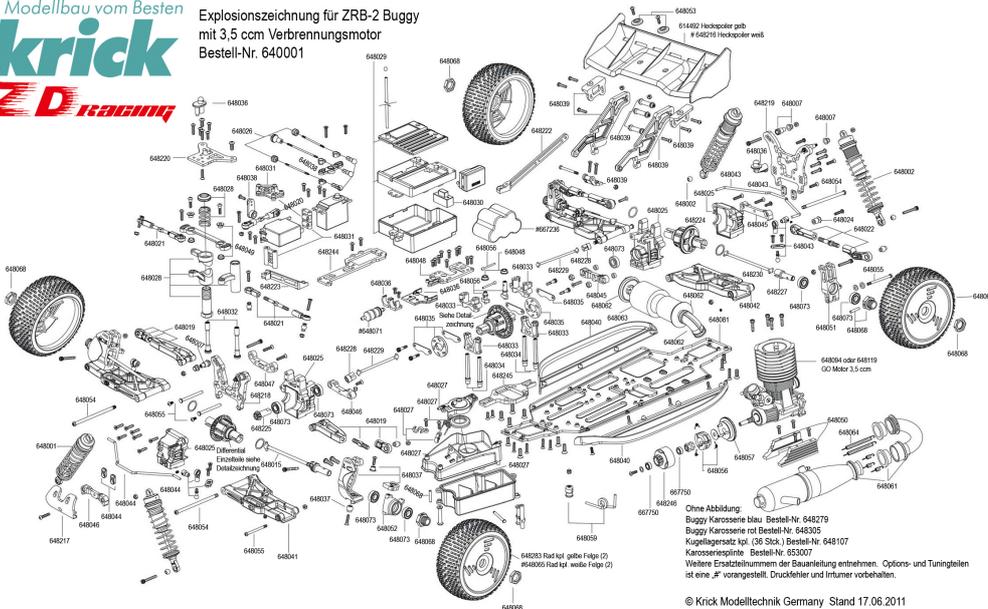
Quelle: <http://shop.tip-pumpen.de/shopmedia/artikel/n/31202-hwk-46-42-18l.jpg>, <http://shop.tip-pumpen.de/shopmedia/artikel/q/31202.jpg>

15

CAD-Beispiele



Explosionszeichnung für ZRB-2 Buggy mit 3,5 ccm Verbrennungsmotor
Bestell-Nr. 640001



2 Pro Buggy 1:8 GP RTR bei CMC

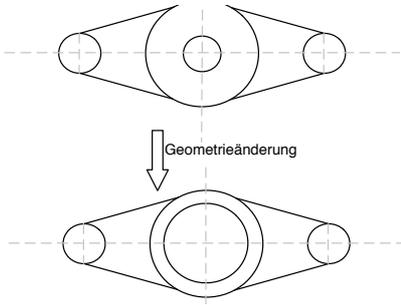


<https://thumbs.cmc-versand.de/orig/watermark/19-640001-x-1984c1-c-Krick-ZRB-2-Pro-Buggy-1:8-RTR-19-640001-3.jpg>

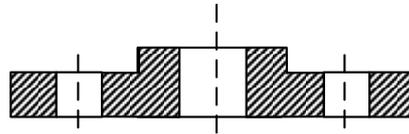
<http://www.krick-modell.de/mainframe/ersatzteile/AUTO/ZD/bilder/640001-Explosionsz-2400.jpg>

16

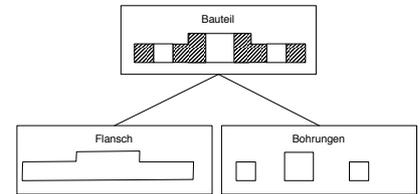
Ausgewählte CAD-Funktionen I



Manipulation



Schraffur

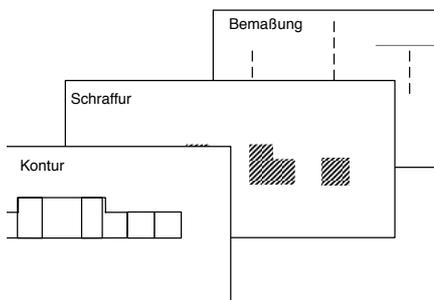


Baugruppen

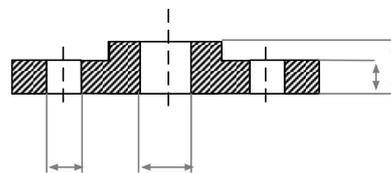
Quelle:

17

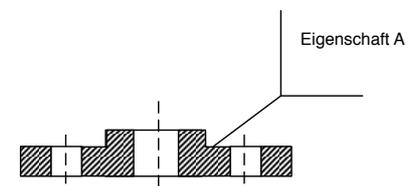
Ausgewählte CAD-Funktionen II



Ebenen-/Layer-technik



Bemaßung



Attribute

Quelle:

18

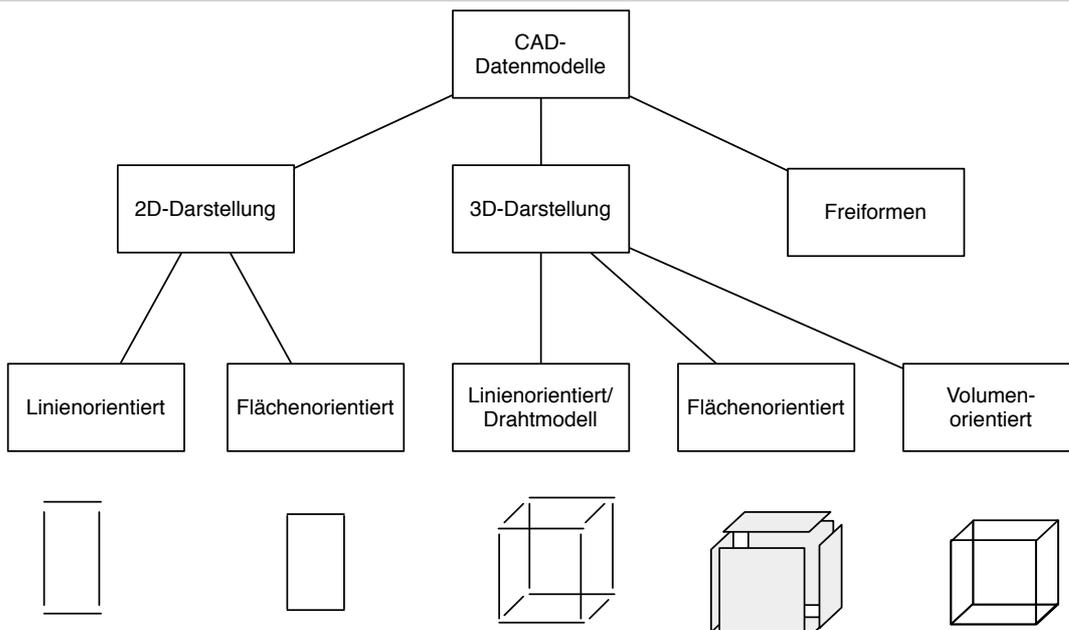
Ausgewählte CAD-Funktionen III

- Anbindung an CN / CNC - Systemen
- DXF- und DWG-Import
- Rasterbearbeitung mit Vektorisierung
- Hilfslinien und Konstruktionshilfen
- 2D/3D - Durchgängigkeit (Visualisierung und Darstellung)
- Unterstützung für Einzelteile, Zusammenbauten, Präsentationen, Zeichnungen, iParts, begleitete Bauteile
- Materialmanagement
- Stücklistenmanagement
- Dokumentenverwaltung (DVS)
- Trassen-Modell Funktionen
- Umfangreiche Bearbeitungsmöglichkeiten: Dehnen, Trimmen, Flächen erzeugen, Fangfunktion etc.
- Einhaltung von Unternehmens- und globalen Branchenstandards für technische Dokumente
- Unterstützung von IETMs (Interactive Electronic Technical Manuals) und IETPs (Interactive Electronic Technical Publications)

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

19

CAD-Datenmodelle

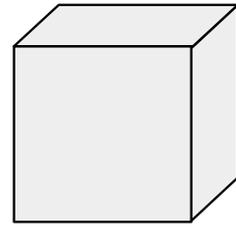
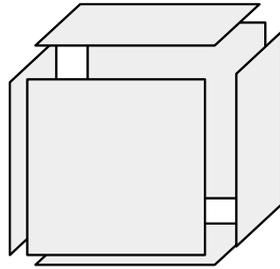
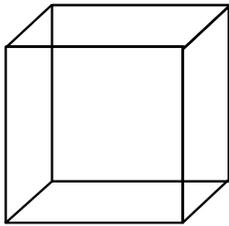


2D-Modelle können beispielsweise durch Rotation oder Extrusion zu 3D-Modellen werden.

Quelle: Lobeck 2012

20

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

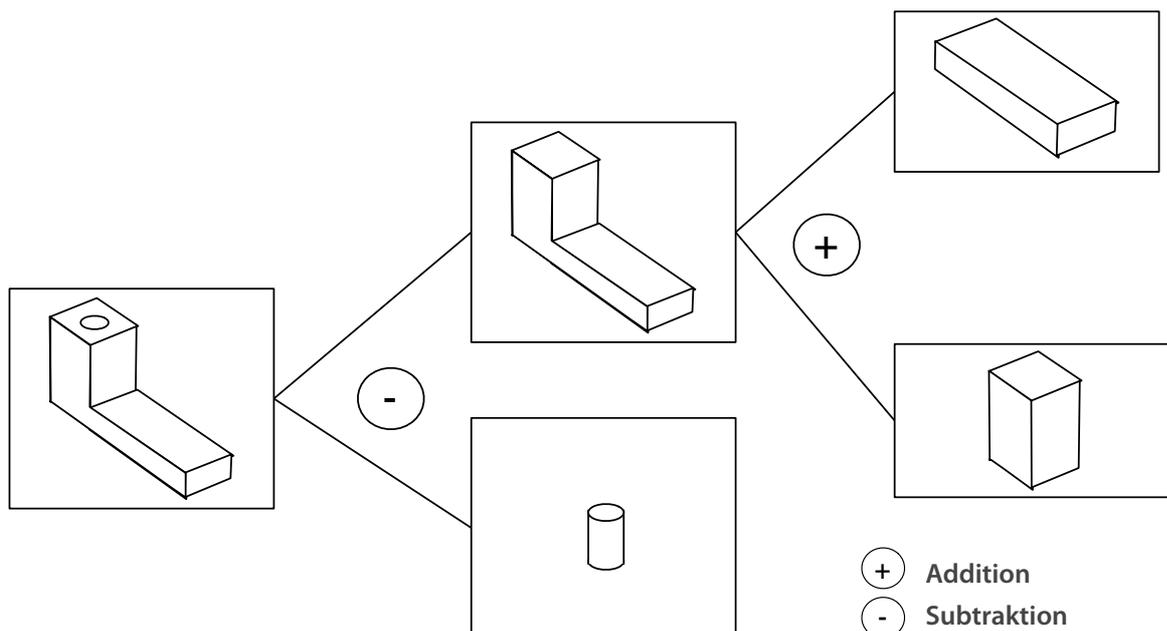
- Richtung für Material
- Physikalische Eigenschaften exakt berechenbar
- Kollisionsprüfung möglich
- Bsp.: CSG- und BRep-Volumenmodelle

Quelle: Lobeck 2012

21

Constructive Solid Geometry (CSG)-Modell

Ein CSG-Modell ist ein generatives Volumenmodell, dass aus Grundmodellen nach den Regeln der Booleschen Algebra aufgebaut wird. Die nötigen Verknüpfungen werden im CSG-Baum gespeichert.



Quelle: Lobeck 2012

22

Bewertung des CSG-Modells

Vorteile

- Gewährleistung der Modelkonsistenz
- 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 Freiflächenformen
- Informationen über wirkliche Flächen und Kanten des Objektes nicht speicherbar
- Einzelne Elemente der Volumens lassen sich nur schwer manipulieren

Quelle: Lobeck 2012

23

Boundary Representation (BRep)-Modell

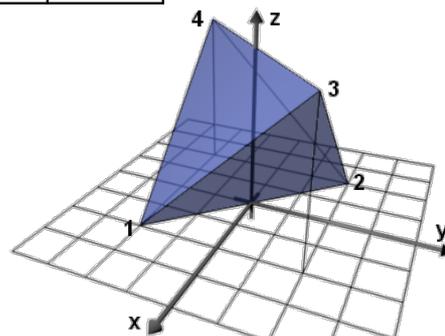
Beim BRep-Modell wird das Volumen durch die umhüllenden Begrenzungsflächen sowie die Lage des Materials relativ zu den Begrenzungsflächen beschrieben. Es ist ein um Materialvektoren erweitertes Flächenmodell.

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

Kantennr.	Knotennr.	Knotennr.
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

24

Bewertung BRep-Modell

Vorteile

- Abgeschlossenheit und Konsistenz werden durch Algorithmen gewährleistet
- Das dargestellte Modell stellt jederzeit ein explizites und vollständiges Abbild der Geometrie dar
- Alle geometrischen Elemente im Modell können direkt angesprochen werden
- Beliebige geformte Volumenelemente möglich
- Keine Beschränkung auf Grundelemente (siehe CSG-Modell)
- Keine ständige Neuberechnung des gesamten Modells notwendig

Nachteile

- Erneute Überprüfung der Volumenkonsistenz nach jeder Operation notwendig
- Hoher Speicherplatzbedarf
- Keine Information über die Beschreibungshistorie
- Offene Körper sind nicht beschreibbar

Quelle: Lobeck 2012

25

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

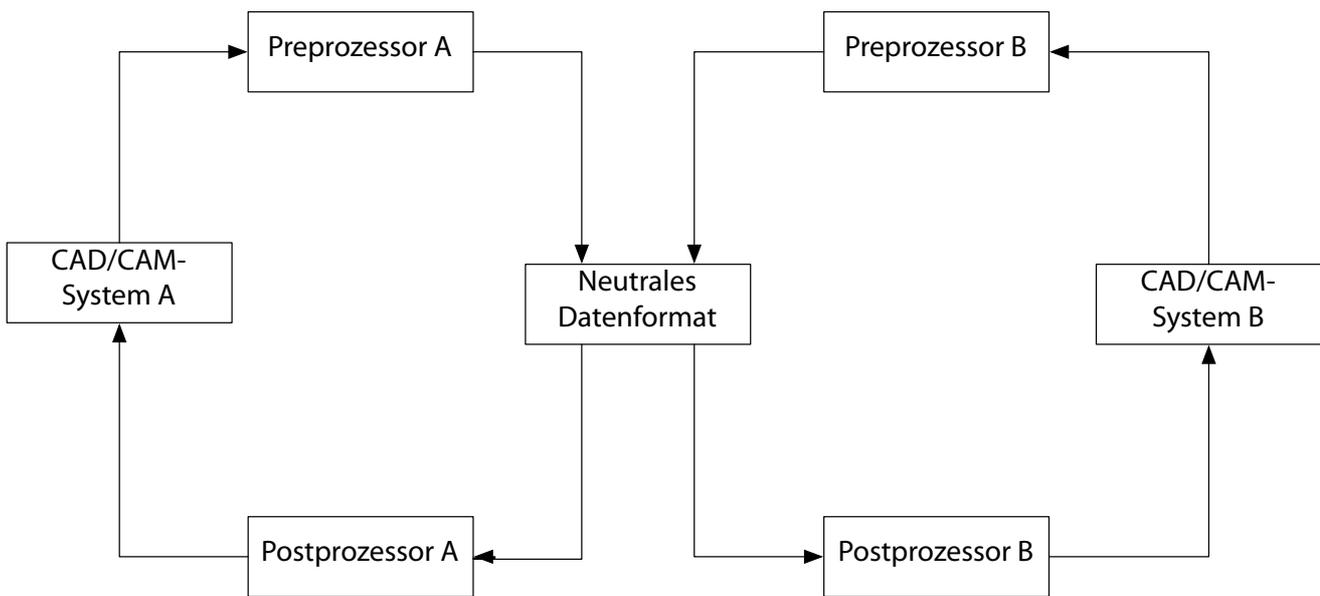
Charakteristika

- 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

26

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

27

Datenaustauschformate

ACIS

- Realisierung komplexer Freiflächen auf Basis der NURBS-Darstellung
- Möglichkeit der Erweiterung um Attribute (komplexe Objekte)

STEP: Standard for the Exchange of Product Model Data

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

DXF:

Drafting Exchange Format

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

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 Freiflächenformen

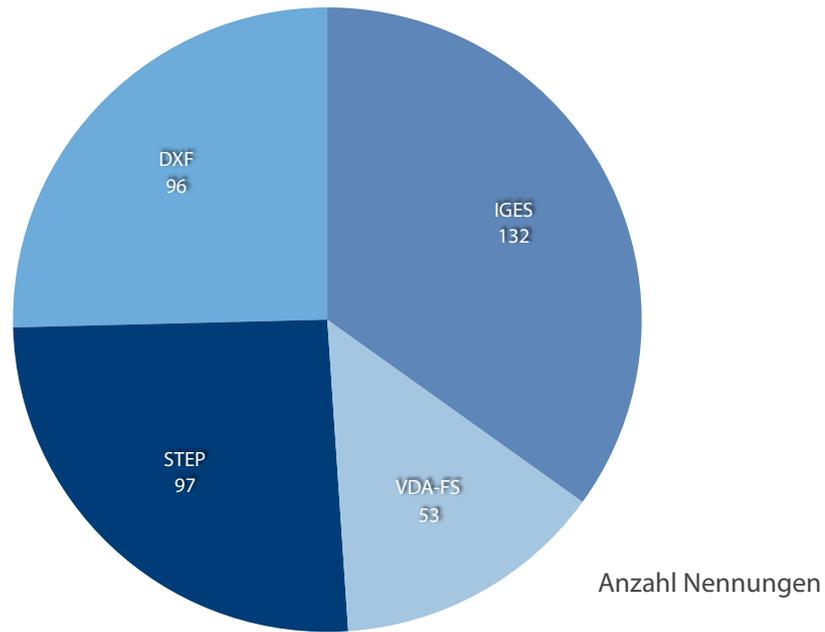
VDA-FS: Verband der deutschen Automobilhersteller - Flächenschnittstelle

- Austausch reine Gestaltdaten
- Basiert auf der topologischen Verknüpfung von Freiflächenformen

Quelle: Lobeck 2012

28

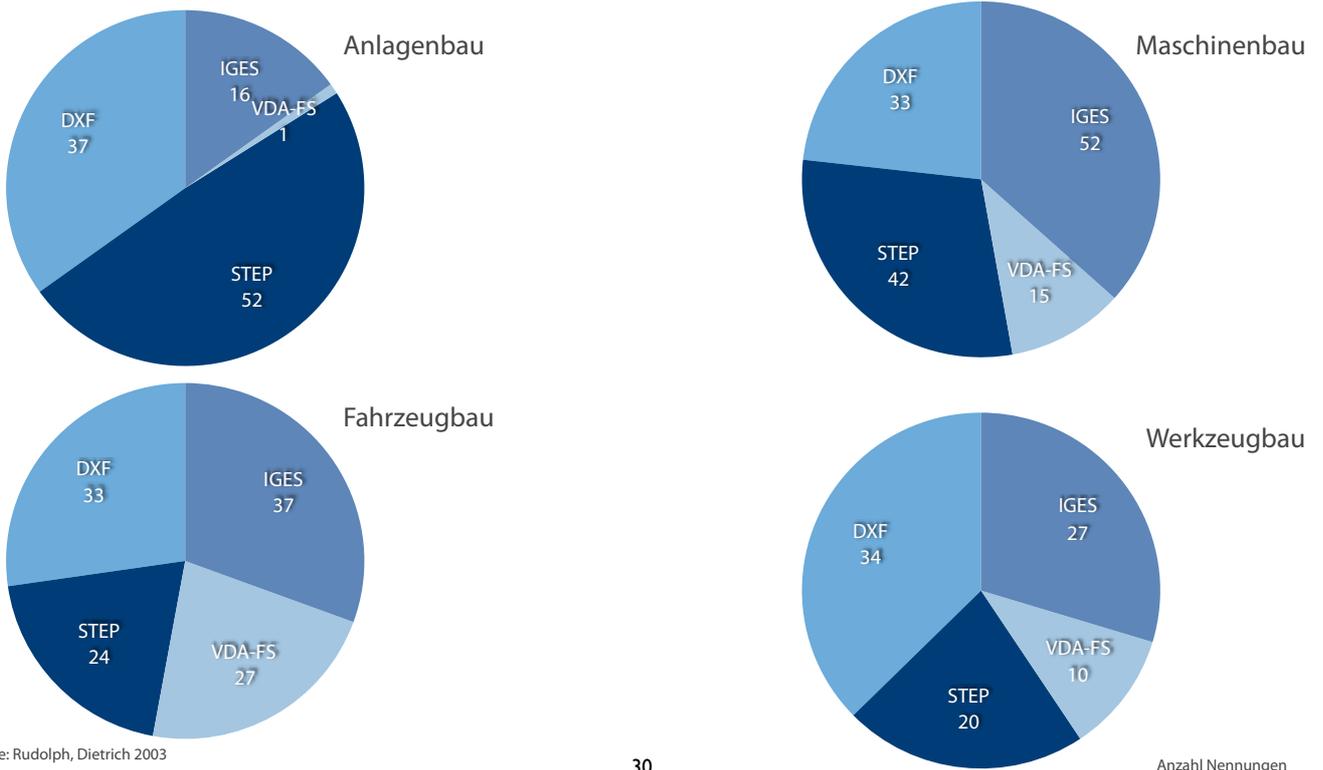
Einsatz der Datenaustauschformate



Die Verwendung der Datenaustauschformate in den verschiedenen Branchen (Anlagen-, Fahrzeug, Maschinen- und Werkzeugbau) variiert stark.

Quelle: Quelle: Rudolph, Dietrich 2003

Einsatz der Datenaustauschformate in den Branchen



Quelle: 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

Umfang

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

Anwendungsbereiche

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

Anwendungszwecke

- Datenaustausch mittels sequentieller Dateien
- Datenbankimplementierungen
- Langzeitarchivierung

Quelle: ISO 13030

31

STEP Bestandteile

Beschreibungsmodelle
11 EXPRESS-Beschreibungssprache 13 STEP-Entwicklungsmethode

Anwendungsorientierte Basismodelle
101 Zeichnung 102 Schriftstrukturen 103 Elektrik/Elektronik 104 Finite-Element-Analyse 105 Kinematik 106 Kernmodell für Baukonstruktionen

Implementierungsmethoden
21 Austauschstrukturen auf Textbasis 22 Spezifikation der Standard-Zugriffsschnittstelle

Generische Ressourcen
41 Grundlagen der Produktbeschreibung 32 geometrische und typologische Repräsentationen 43 Präsentationsstrukturen 44 Produktstrukturen 45 Materialien 46 Visuelle Präsentation 47 Gestalttoleranzen 49 Prozeßstrukturen

Konformitätstests
31 Generelle Konzepte 32 Anforderungen an die Testumgebungen

Abstrakte Testfälle
301 ATS für explizites Zeichnen 303 ATS für Baugruppenkonstruktion

Anwendungsprotokolle
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

Integrierte anwendungsbezogene Konstrukte
501 Drahtmodell 512 Facettenmodell 514 Randflächenmodell 515 CSG-Darstellung

Quelle: ISO 13030

32



Konstruktion

Computergestützte Konstruktion

Computer Aided Design

Rapid Prototyping/ Generative Fertigungsverfahren

33

Anforderungsabhängige Einteilung additiver 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 Additiven Fertigungsverfahren wird das Werkstück element- oder schichtweise aufgebaut wird. (VDI 3404)

34

Eigenschaften generativer Fertigungsverfahren

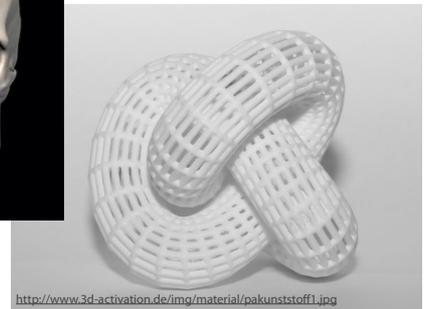
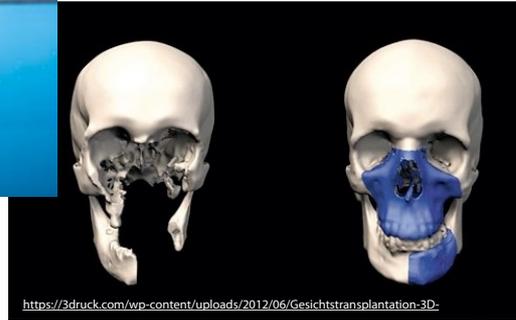
Direkte Schichtengenerierung aus rechnerinterner Darstellung (3D-CAD)

Keine NC-Programmierung notwendig

Vermeidung von Werkzeug-Kollision

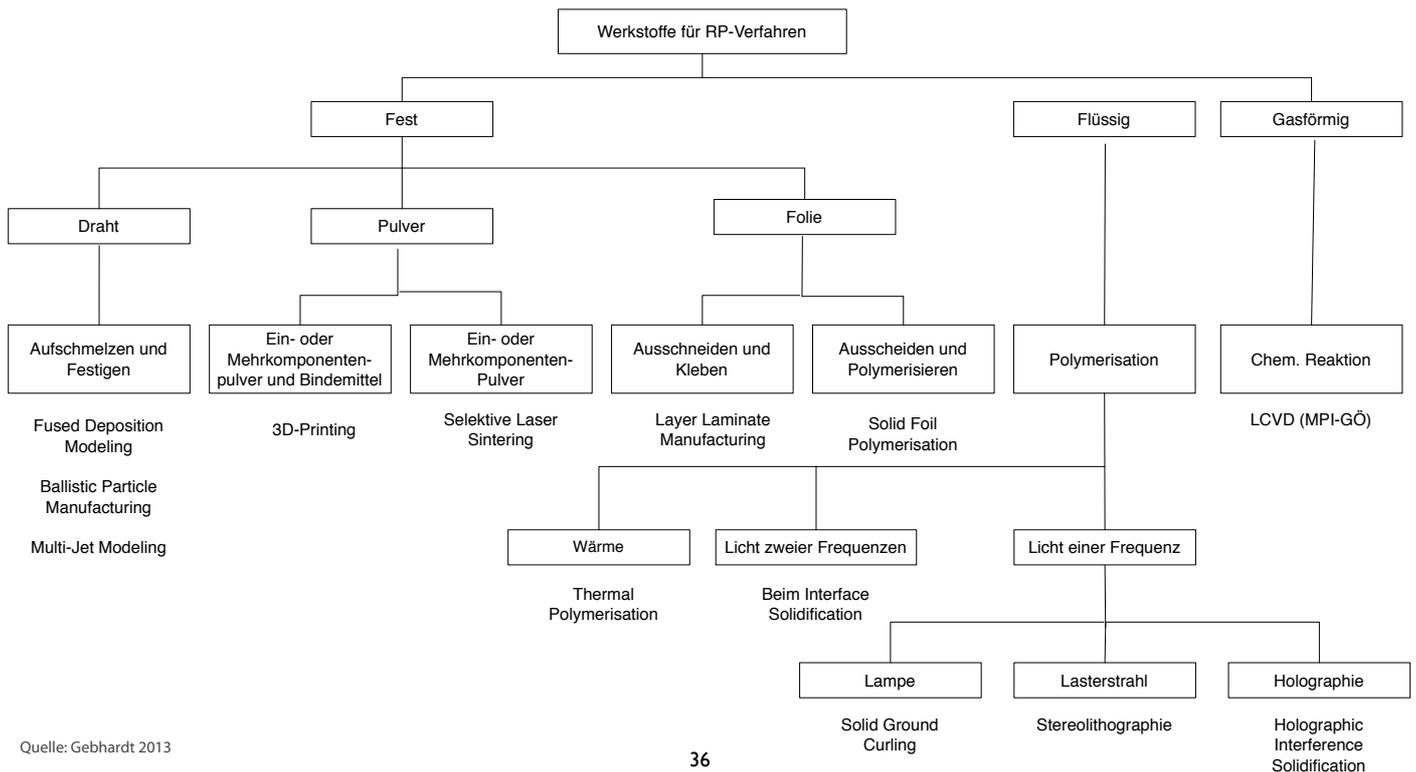
Prinzipielle Herstellbarkeit beliebiger Geometrien

Lokale Schaffung von Werkstoffzusammenhalt



Quelle: Uhlmann 2008

Einteilung generativer Fertigungsverfahren



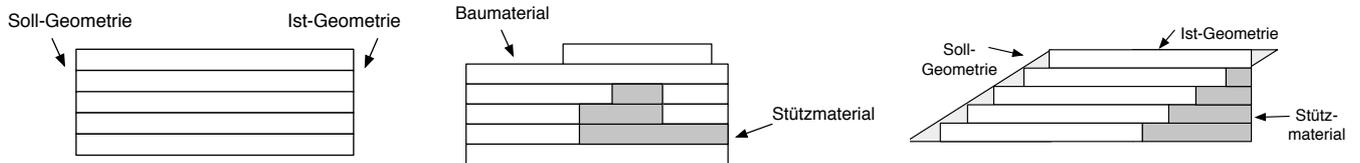
Quelle: Gebhardt 2013

Industriell relevante Rapid Prototyping Verfahren

Deutsche Bezeichnung	Englische Bezeichnung	Abkürzung
Stereolithographie	Stereolitography	SL
Selektives Laser Sintern	Selective Laser Sintering	SLS
3D-Druckverfahren	3D Printing	3DP
Extrusionsverfahren	Fused Despostion Modeling	FDM
Ballistische Verfahren	Ballistiv Particle Manufacturing	BPM
Schicht-Laminier-Verfahren	Layer Laminat Manufacturing	LLM

Quelle: Uhlmann 2008

Schichtenaufbau



Vertikaler Modellaufbau, einfache Geometrie

Modellaufbau mit Hohlräum

Modellaufbau mit Überhang

Quelle: Uhlmann 2008

Herausforderungen

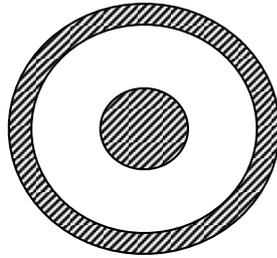
Treppenstufeneffekt

Abfluss von Füllmaterial

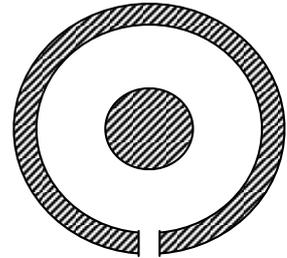
Kombination verschiedener Materialien

Oberflächenstruktur

Fertigung einer "Kugel in der Kugel"



Herausforderung beim RP:
Wie kann das Stützmaterial entfernt werden?

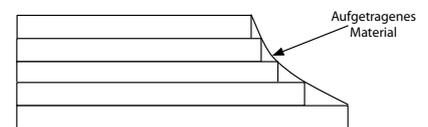
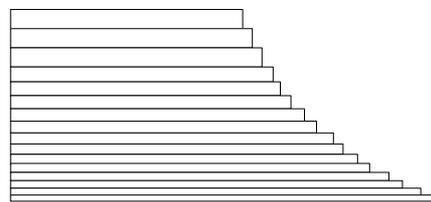
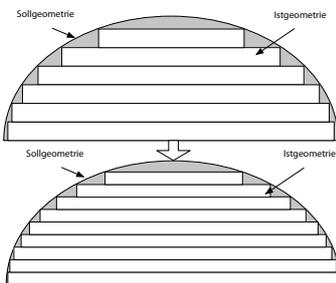


Lösung: kleine Öffnung

43

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

Chancen durch generative Fertigungsverfahren

Flexible Produktion

Wirtschaftliche Fertigung von Einzelteilen/Individualisierung

Verringerung Lagerhaltung

Integralbauweise

Geringere Time-to-Market

Schnelles Änderungsmanagement

Gewichtsreduzierung von Bauteilen

Keine Fertigungswerkzeuge

Sicherheit gegen Produktpiraterie

Revolutionäre Anwendungen in unterschiedlichen Branchen denkbar

- Produktion: Mass Customization
- Medizinbranche: Druck individueller Implantate
- Bauindustrie: Riesen Drucker für den Hausbau
- weiter: Mode, Schmuck, Musik ...

Quelle: Uhlmann 2008

45

Vergleich von Selective Laser Sintering zu anderen RP-Verfahren

Vorteile

- Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffe einsetzbar
- Herstellung von Konzeptmodell und Funktionsprototypen
- Bei Kunststoffen kein Folgeprozess notwendig
- Recycling des nicht versinterten Pulvers
- Keine Stützkonstruktion notwendig

Nachteile

- Genauigkeit und Oberfläche von Partikelgröße abhängig
- Thermisch sehr empfindlicher Prozess
- Zeitintensive Aufheiz- und Abkühlphasen
- Thermisch bedingter Verzug und Kantenverrundung
- Besondere Einrichtungen für Pulveraufbereitung notwendig

Rapid Prototyping-Verfahren, deren Ausgangswerkstoffe im pulverförmigen Zustand vorliegen, arbeiten nach dem Prinzip des Sinterns bzw. des Schmelzens.

Quelle: Uhlmann 2008

46

Vergleich von 3D-Druck zu anderen RP-Verfahren

Vorteile

- Hohe Baugeschwindigkeiten
- Farbige Modelle möglich
- Sehr einfache Bedienung
- Keine Stützkonstruktion notwendig
- Sehr kostengünstiges Verfahren

Nachteile

- Nur Konzeptmodelle
- Sehr geringe Festigkeit
- Schlechte Oberflächenqualität
- Erhebliche Restporosität

Rapid Prototyping-Verfahren, deren Ausgangswerkstoffe im pulverförmigen Zustand vorliegen und nicht geschmolzen werden arbeiten nach dem Prinzip des Klebens.

Quelle: Uhlmann 2008

47

Vergleich von Fused Deposition Modeling zu anderen RP-Verfahren

Vorteile

- Hohe Genauigkeiten (+/- 0,01 mm)
- Sehr geringe Bauzeiten
- Hohe Oberflächenqualitäten
- Serienidentische Werkstoffe
- Wasserlöslicher Stützwerkstoff

Nachteile

- Oberflächenwelligkeit
- Geringe Kantenschärfe
- Offene Oberflächen
- Geringe Strukturauflösung (min. 0,45 mm)

Rapid Prototyping-Verfahren, deren Ausgangswerkstoffe im festen Zustand vorliegen und den Werkstoff strangförmig auftragen, arbeiten nach dem Prinzip der Schmelzextrusion.

Quelle: Uhlmann 2008

48

Vergleich von Ballistic Particle Manufacturing zu anderen RP-Verfahren

Vorteile

- Sehr hohe Genauigkeit
- Sehr filigrane Strukturen möglich
- Hohe Oberflächenqualität und Kantenschärfe
- Prototypen können direkt als „Wachsling“ genutzt werden

Nachteile

- Nur ein Werkstoff verfügbar
- Geringe Festigkeit
- Thermische Empfindlichkeit
- Schnittkräfte durch Fräsprozess
- Chemisches Auslösen des Stützmaterials

Rapid Prototyping-Verfahren, deren Ausgangswerkstoffe im festen Zustand vorliegen und den Werkstoff tropfenweise auftragen, arbeiten nach dem Prinzip der Schmelzens.

Quelle: Uhlmann 2008

49

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.
- Hoischer, H.; Hesser, W.: Technisches Zeichnen. Grundlagen, Normen, Beispiele. 30. Auflage. Cornelsen, 2005
- 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.