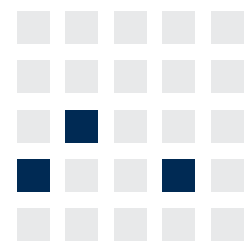




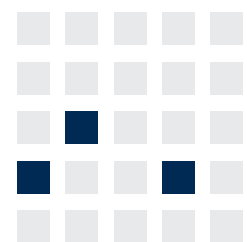
# Internet of Things/Industrial Internet

## Computer Aided Design und Rapid Prototyping



**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*

*Mail* August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany  
*Visitors* Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam  
*Tel* +49 331 977 3322

*E-Mail* [ngronau@lswi.de](mailto:ngronau@lswi.de)  
*Web* [lswi.de](http://lswi.de)



Konstruktion

Computergestützte Konstruktion

Computer Aided Design

Digitale Repräsentation von CAD-Objekten

Rapid Prototyping/Generative Fertigungsverfahren

# Lernziele

---

- Konstruktionsarten und -phasen kennen und deren Zusammenhang verstehen
- Bestandteile und Begriffe der C-Techniken kennen
- Konzept des Virtuellen Prototyps und Digitalen Mock-Ups verstehen
- CAD (Grund-)Funktionen kennenlernen
- CAD-Datenmodelle verstehen
- Boundary Representation (BRep)-Modell und Constructive Solid Geometry (CSG)-Modell vergleichen bzw. Vor-/Nachteile kennen
- Verschiedene CAD Datenaustauschformate kennen
- Unterschiede generativer und additiver Fertigungsverfahren verstehen



## **Konstruktion**

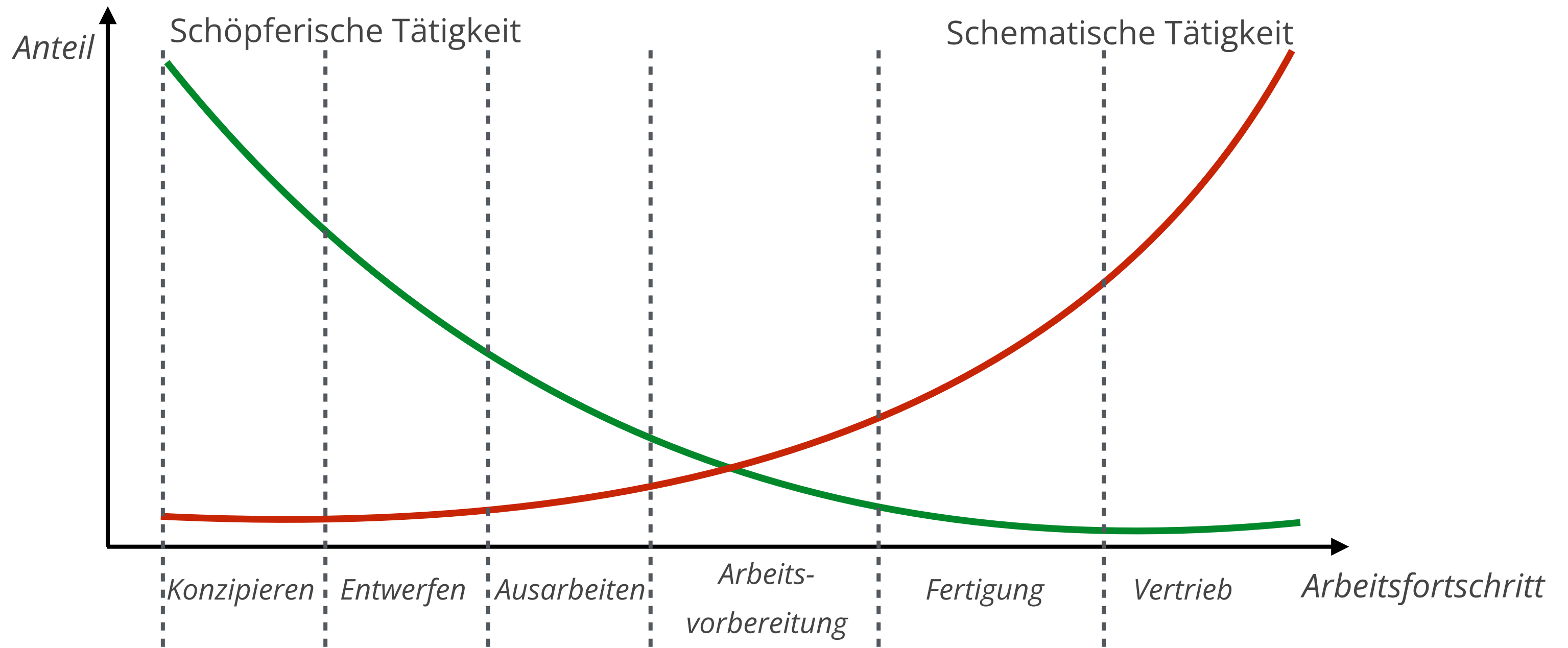
Computergestützte Konstruktion

Computer Aided Design

Digitale Repräsentation von CAD-Objekten

Rapid Prototyping/Generative Fertigungsverfahren

# Tätigkeitsarten in der Produktentstehung



# Konstruktionsarten

| Konstruktionsarten              |                                   | Konstruktionsphasen |                     |            |               |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|------------|---------------|
|                                 |                                   | Konzipieren         |                     | Entwerfen  | Ausarbeiten   |
| Grundbegriffe                   | Gebräuchliche Begriffe der Praxis | Funktionsfindung    | Prinzip-erarbeitung | Gestaltung | Detaillierung |
| Neukonstruktion                 | Neukonstruktion                   | [Green bar]         |                     |            |               |
|                                 | Entwicklungs konstruktion         | [Green bar]         |                     |            |               |
|                                 | Angebots konstruktion             | [Green bar]         |                     |            |               |
| Anpassungs- konstruktion        | Anpassungs konstruktion           | [Blue bar]          |                     |            |               |
|                                 | Angebots konstruktion             | [Blue bar]          |                     |            |               |
|                                 | Fertigungs konstruktion           | [Blue bar]          |                     |            |               |
|                                 | Änderungs konstruktion            | [Blue bar]          |                     |            |               |
| Varianten- konstruktion         | Varianten konstruktion            | [Red bar]           |                     |            |               |
| Konstruktion mit festem Prinzip | Prinzip konstruktion              | [Yellow bar]        |                     |            |               |



Konstruktion

## **Computergestützte Konstruktion**

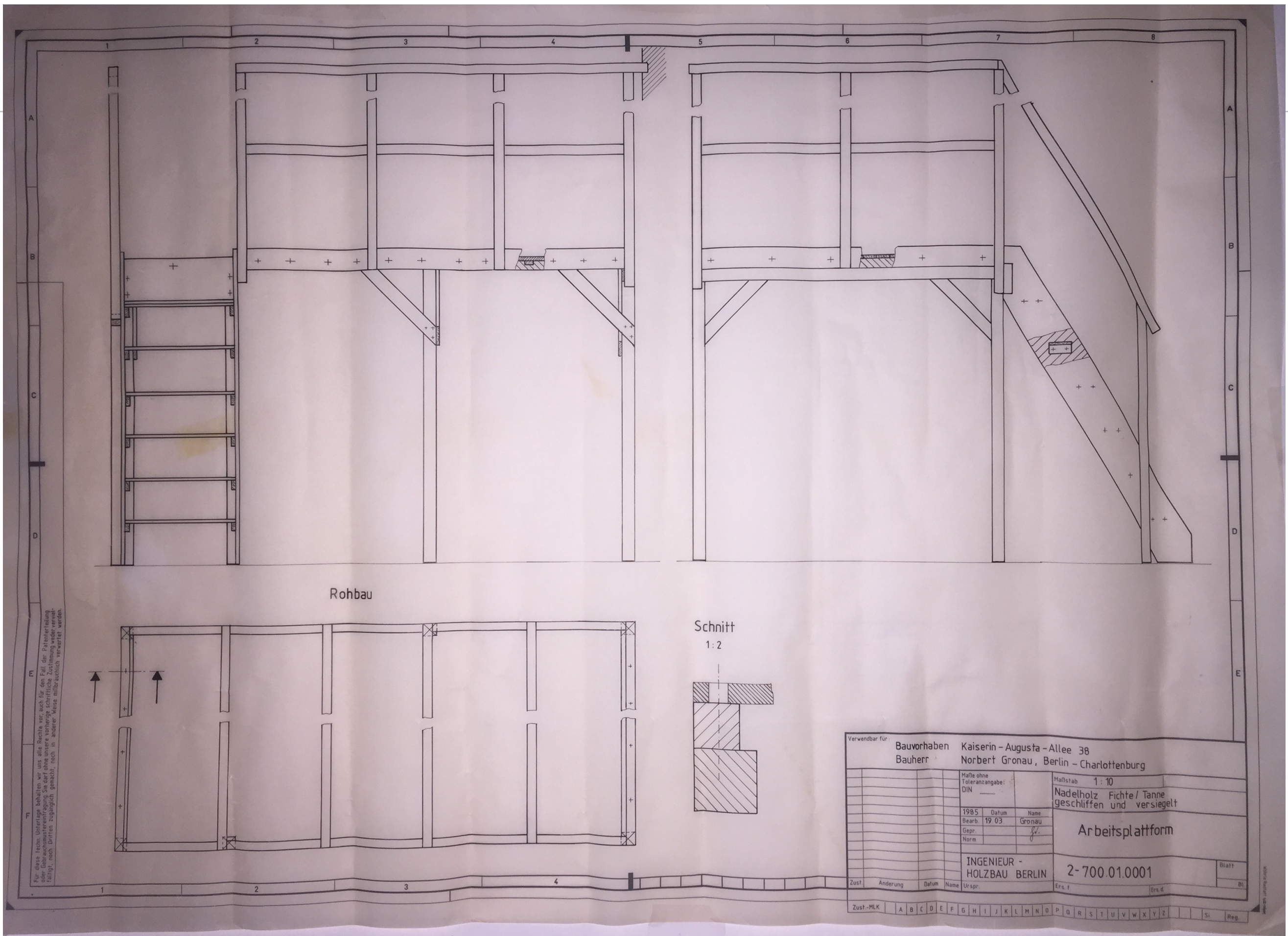
Computer Aided Design

Digitale Repräsentation von CAD-Objekten

Rapid Prototyping/Generative Fertigungsverfahren

# Begriffe der C-Technik

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



Für diesen Rohbau übernehmen wir keine Haftung für die Ausführung, sondern nur für die Ausführung der Holzwerkstoffe. Die Ausführung ist dem Bauherrn überlassen.

Rohbau

Schnitt  
1:2

|  |          |   |      |  |         |
|--|----------|---|------|--|---------|
| Verwendbar für   |          | Bauvorhaben Kaiserin - Augusta - Allee 38 |      | Maßstab 1:10   |         |
| Bauherr  |          | Norbert Gronau, Berlin - Charlottenburg   |      | Nadelholz Fichte / Tanne<br>geschliffen und versiegelt |         |
| Masse ohne<br>Toleranzangabe:<br>DIN                                   |          | 1985 Datum Name<br>Bearb. 19.03 Gronau    |      | Arbeitsplattform                                       |         |
| Gepr. Norm   |          | Ers. f. Ers. d.                           |      |  |         |
| INGENIEUR -<br>HOLZBAU BERLIN  |          | 2-700.01.0001                             |      | Blatt<br>Bl.   |         |
| Zust.  | Änderung | Datum                                     | Name | Urspr.   | Ers. f. |
| Zust.-MLK A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z St. Reg. |          |   |      |  |         |

Verwendbar für:

Bauvorhaben

Kaiserin - Augusta - Allee 38

Bauherr

Norbert Gronau, Berlin - Charlottenburg

Maße ohne  
Toleranzangabe:  
DIN \_\_\_\_\_

Maßstab 1 : 10

Nadelholz Fichte / Tanne  
geschliffen und versiegelt

| 1985   | Datum  | Name       |
|--------|--------|------------|
| Bearb. | 19.03. | Gronau     |
| Gepr.  |        | <i>gr.</i> |
| Norm   |        |            |

Arbeitsplattform

INGENIEUR -  
HOLZBAU BERLIN

2-700.01.0001

Blatt

Bl.

Zust.

Änderung

Datum

Name

Urspr.

Ers. f.

Ers. d.

Zust.-MLK

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

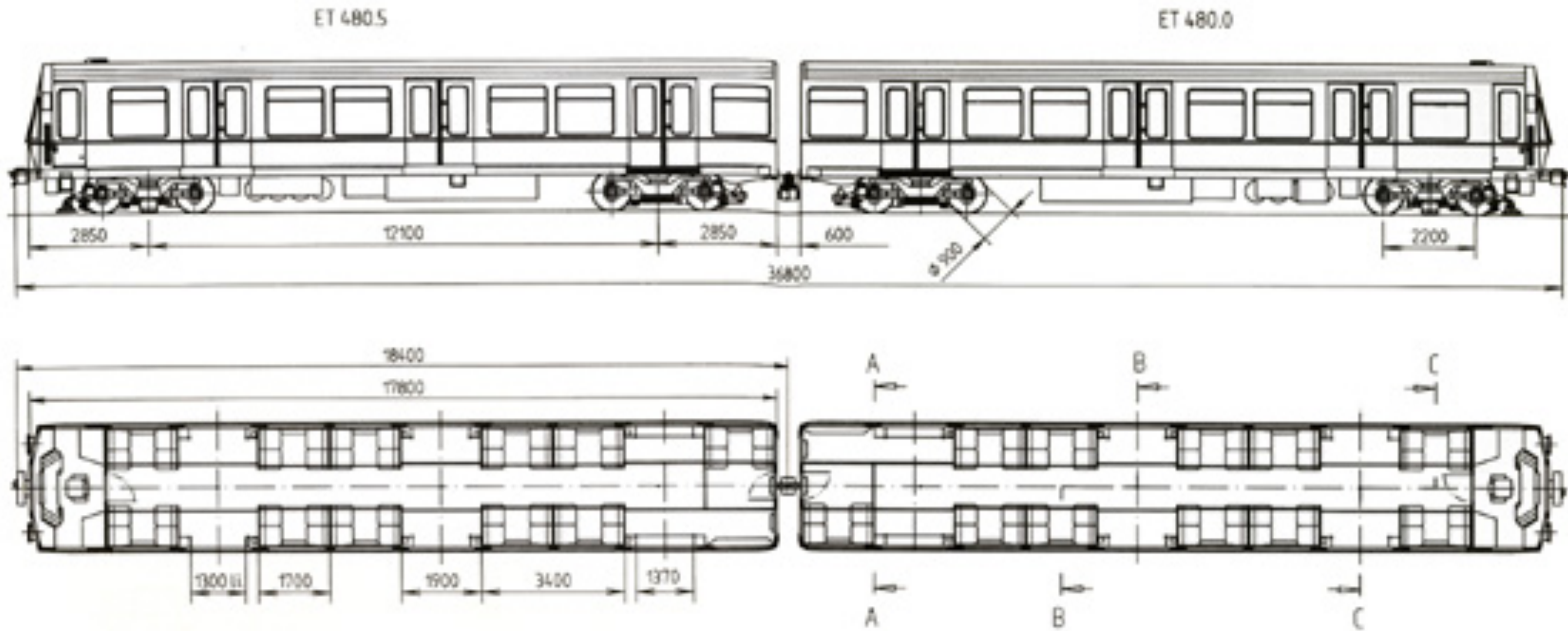
Z

Si.

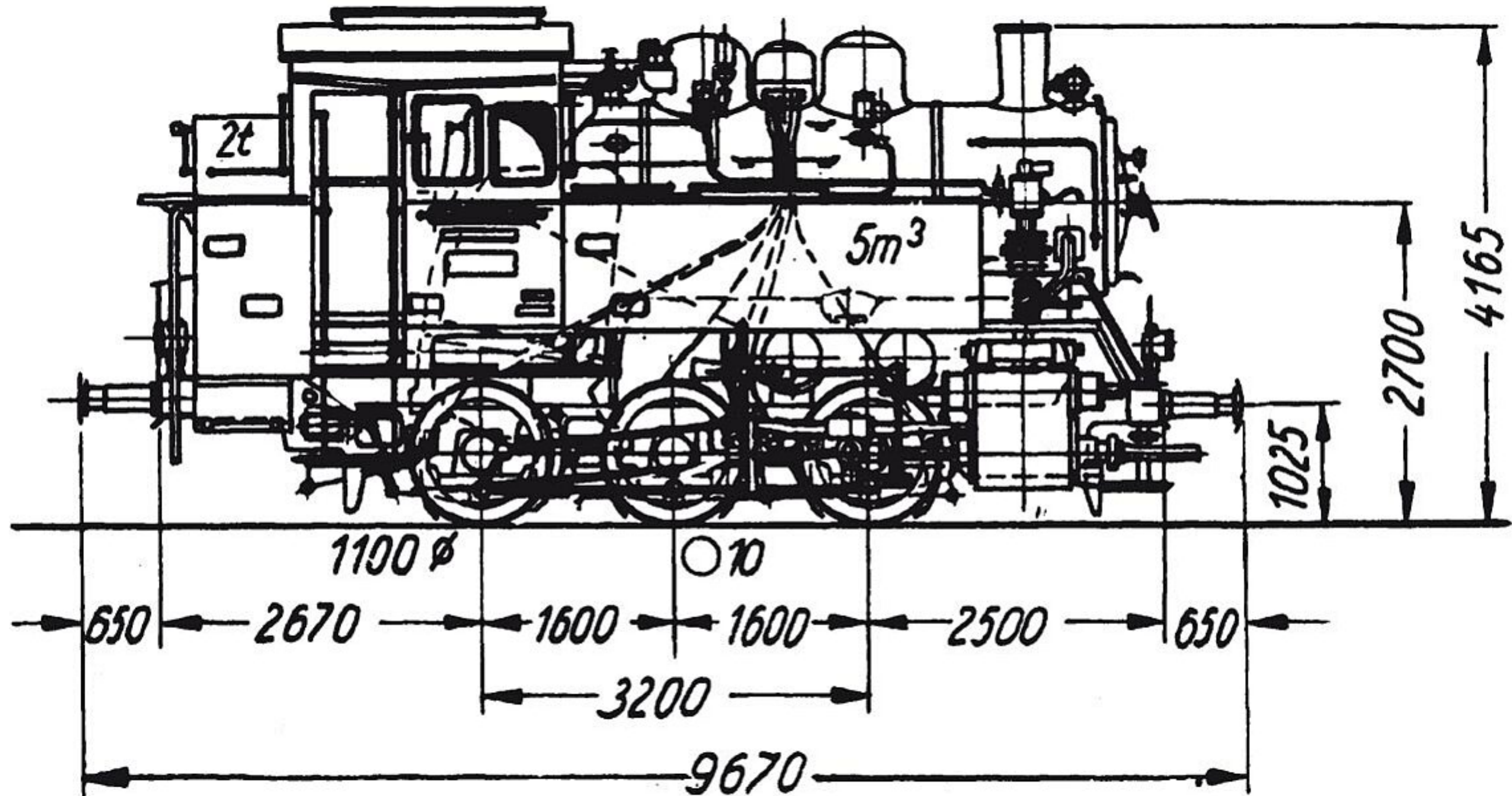
Reg.

Wöhrl Rastatt 42-0101

# Wagenskizze BR 480



# Wagenskizze Lokomotive 80 013



## Planen

### Konzipieren

- Klären der Aufgabenstellung und Ausarbeitung der Anforderungsliste
- Gesamtfunktion in Teilfunktionen aufgliedern und Suchen nach Lösungsprinzipien sowie Bausteinen zur Erfüllung der Funktionen
- Kombinieren der Lösungsprinzipien/Bausteine zum Erfüllen der Gesamtfunktion
- Erarbeiten von Konzeptvarianten und Bewerten dieser Varianten

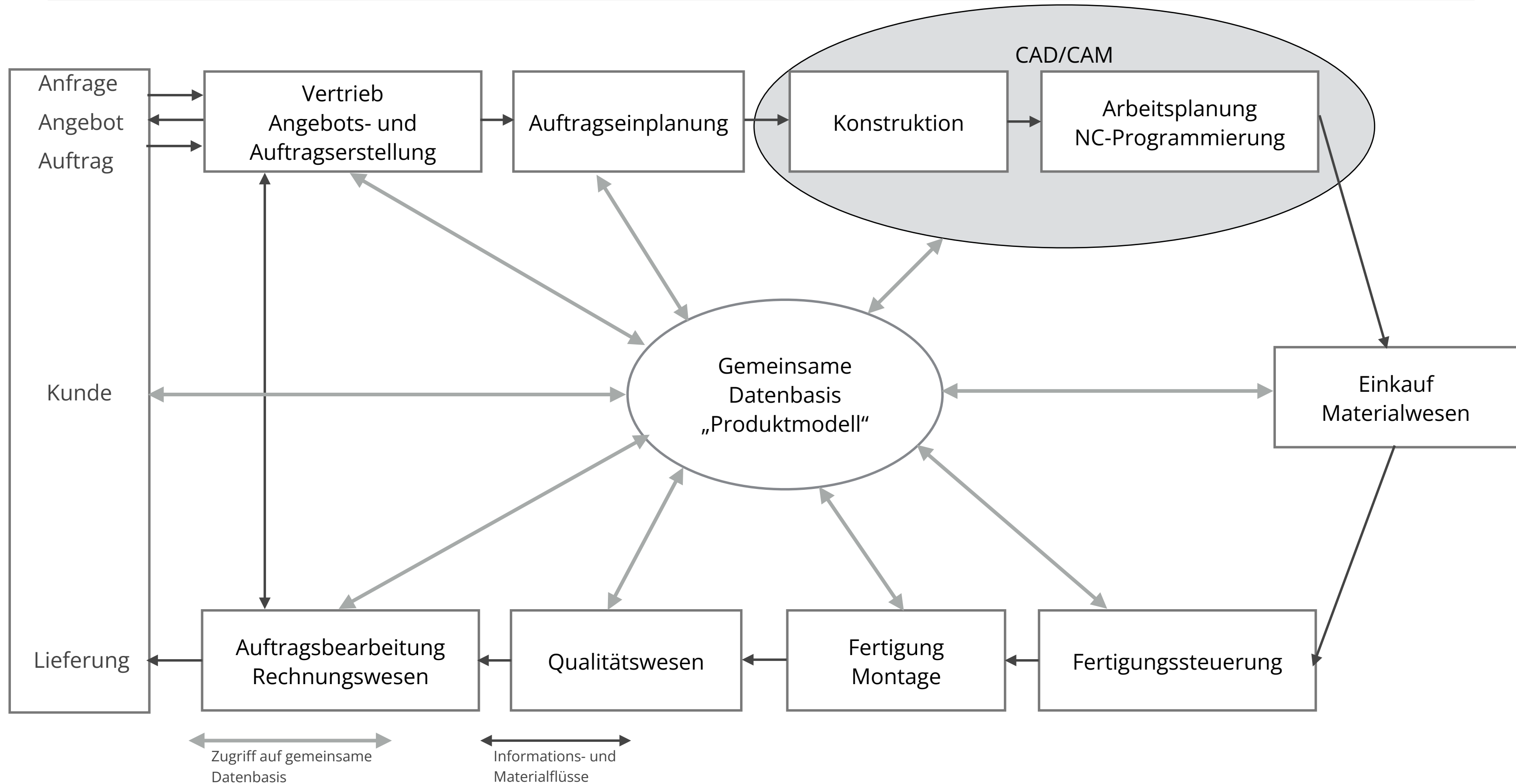
### Entwerfen/Gestaltung

- Erstellen eines maßstäblichen Entwurfs
- Bewerten des Entwurfs und erstellen eines verbesserten Entwurfs
- Optimieren der Gestaltungszonen
- Festlegung eines bereinigten Entwurfs

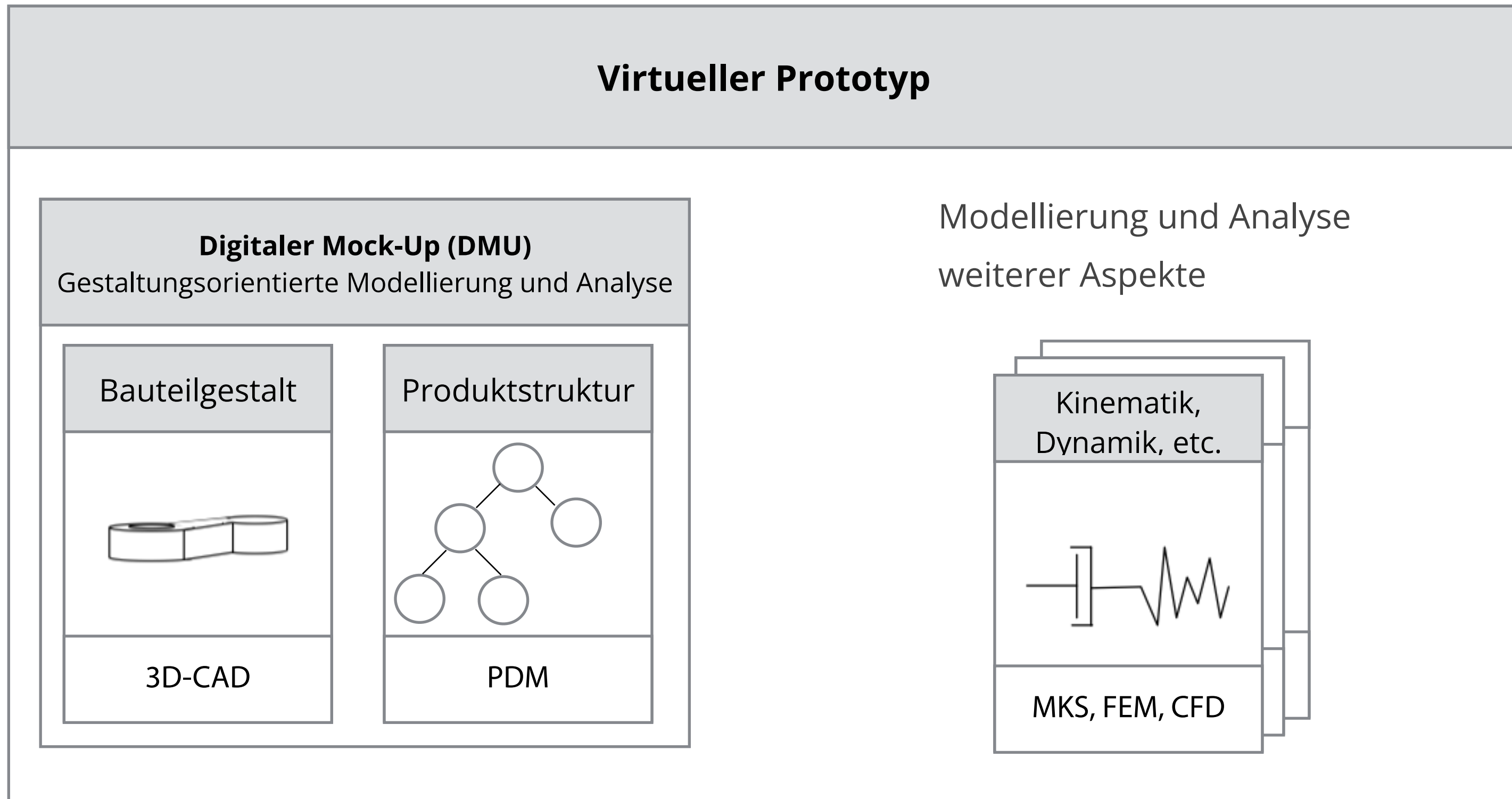
### Ausarbeiten/Detaillierung

- Gestalten und optimieren der Einzelteile
- Ausarbeitung der Ausführungsunterlagen
- Herstellen und Prüfen eines Prototyps

# Integrierte Datenverarbeitung mit gemeinsamer Datenbasis



# Virtueller Prototyp und Digitaler Mock-Up



MKS - Mehrkörpersimulation

CFD - Computational Fluid Dynamics (Strömungssimulation)

FEM - Finite Elemente Methode (Festigkeitsberechnung)



Konstruktion

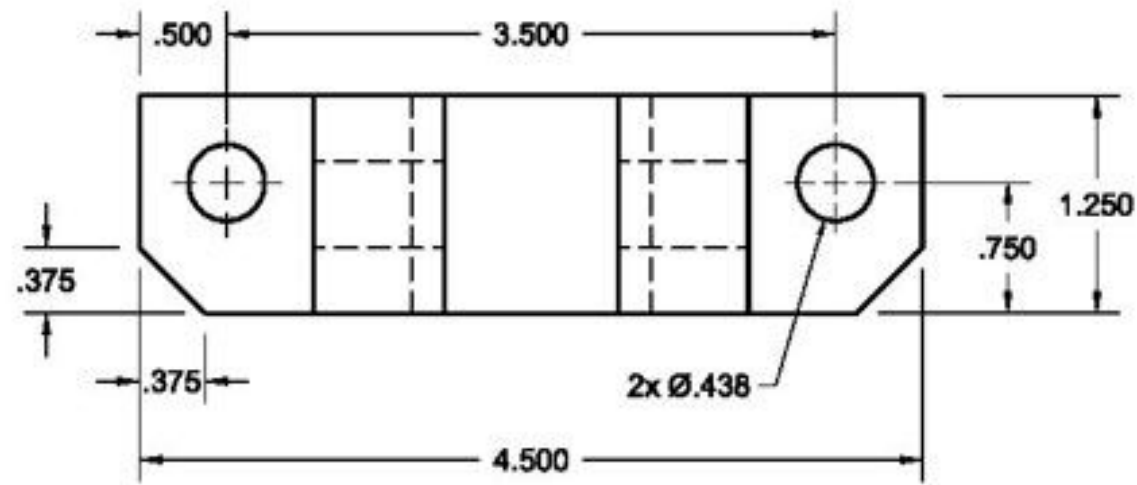
Computergestützte Konstruktion

**Computer Aided Design**

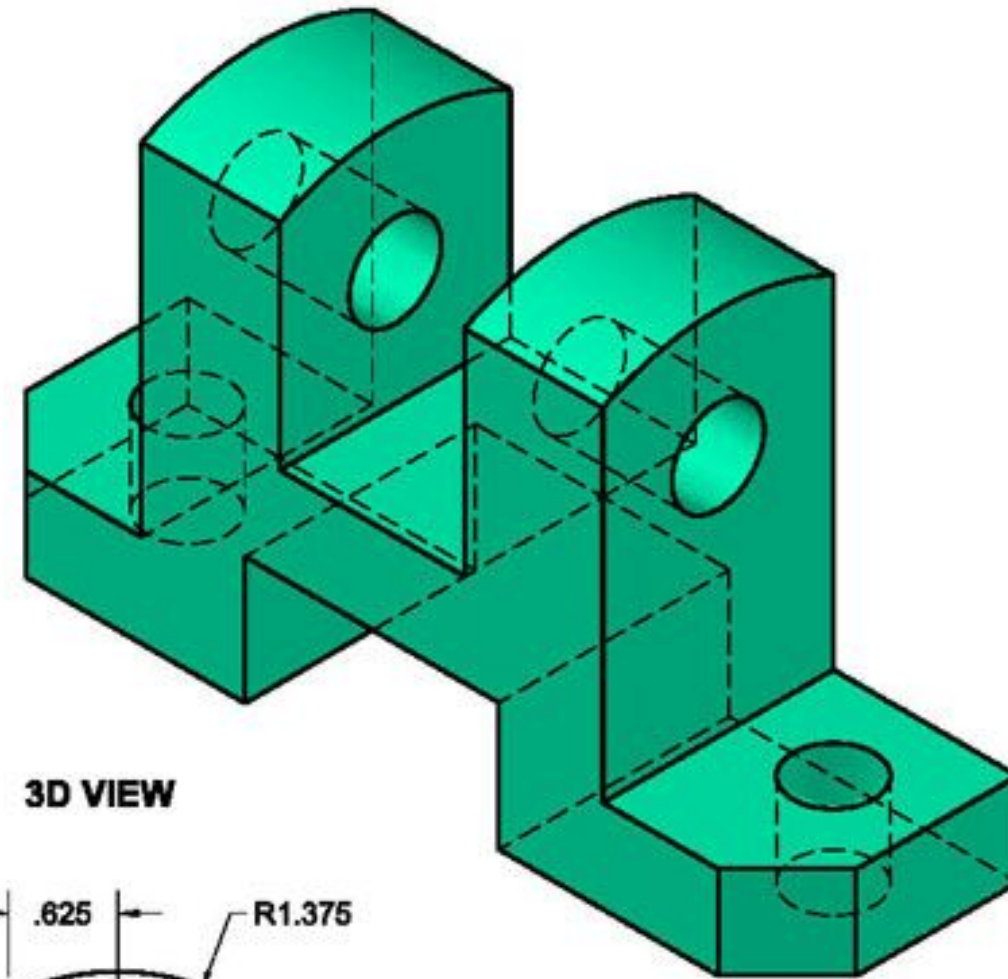
Digitale Repräsentation von CAD-Objekten

Rapid Prototyping/Generative Fertigungsverfahren

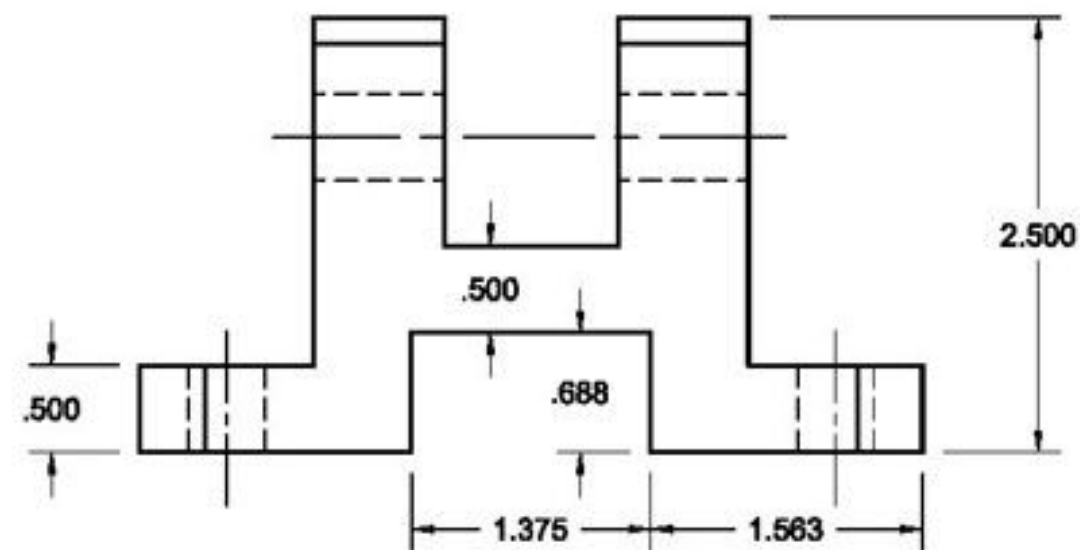
# CAD-Beispiele



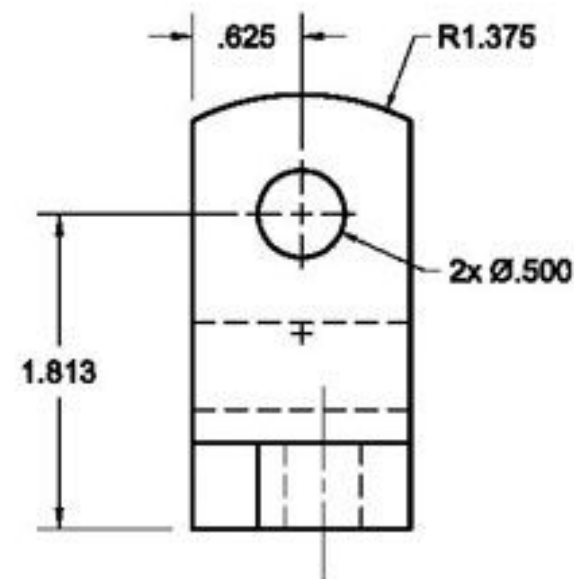
TOP VIEW



3D VIEW



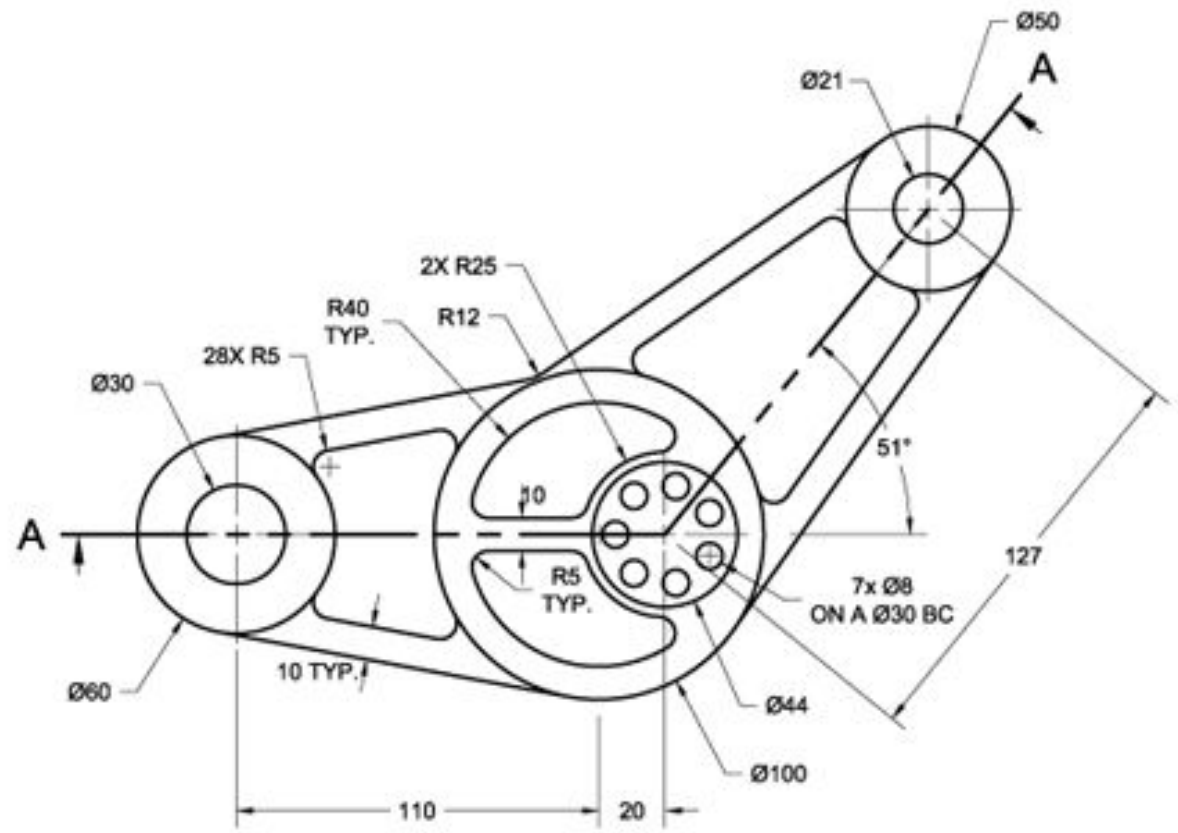
FRONT VIEW



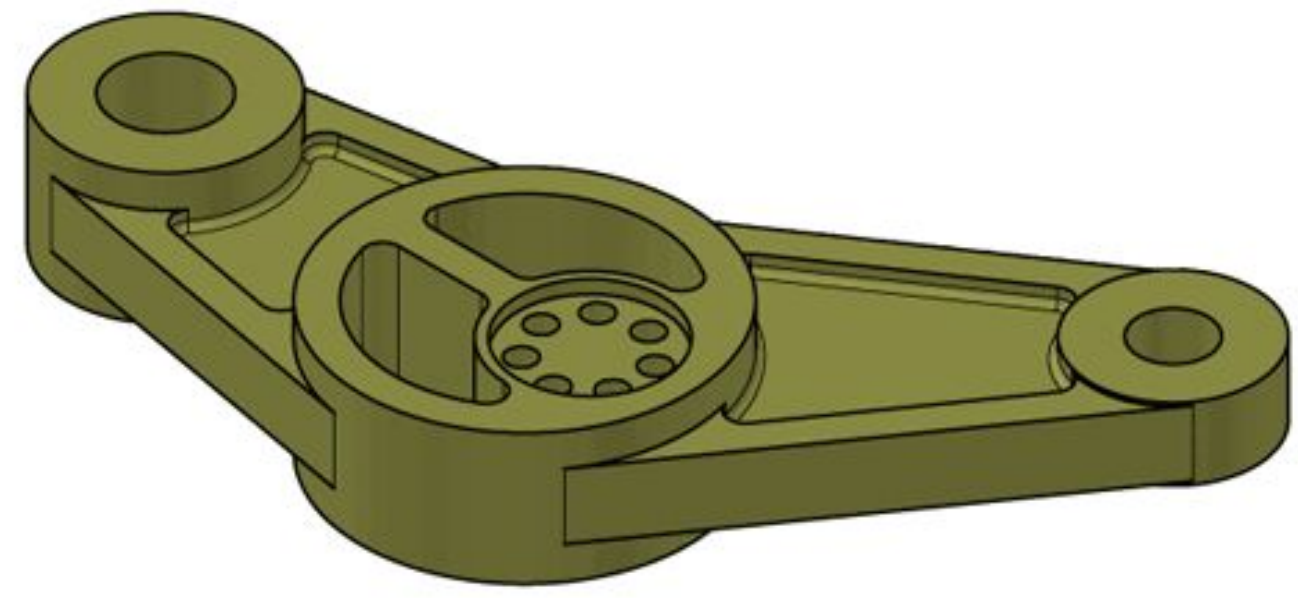
SIDE VIEW

|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| AutoCAD 3<br>3D Modeling |             |
| PROJECT:                 | Practice    |
| DRAWING TITLE:           | Rod Support |
| DRAWN BY:                | KB          |
| DATE:                    |             |
| SCALE:                   | 1:1         |
| CLASS:                   | CADD3       |
| CHECKED BY:              | KB          |
| DRAWING NUMBER:          |             |

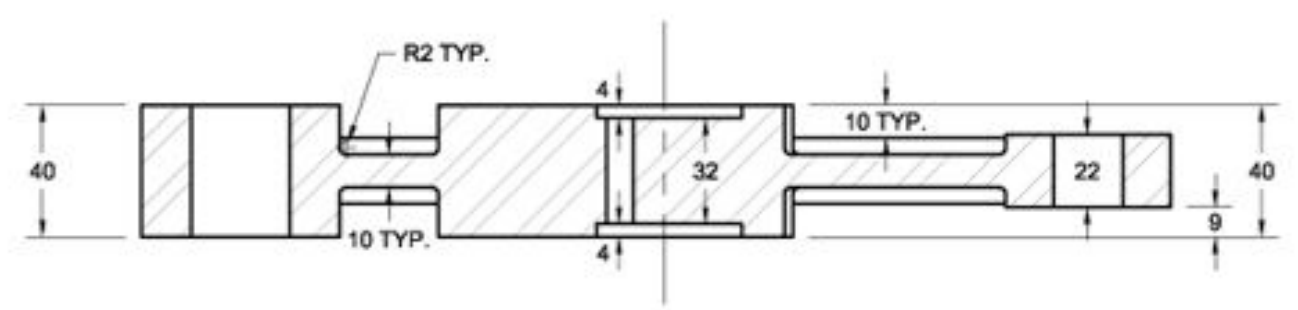
# CAD-Beispiele



TOP VIEW (1:2)



3D VIEW #1

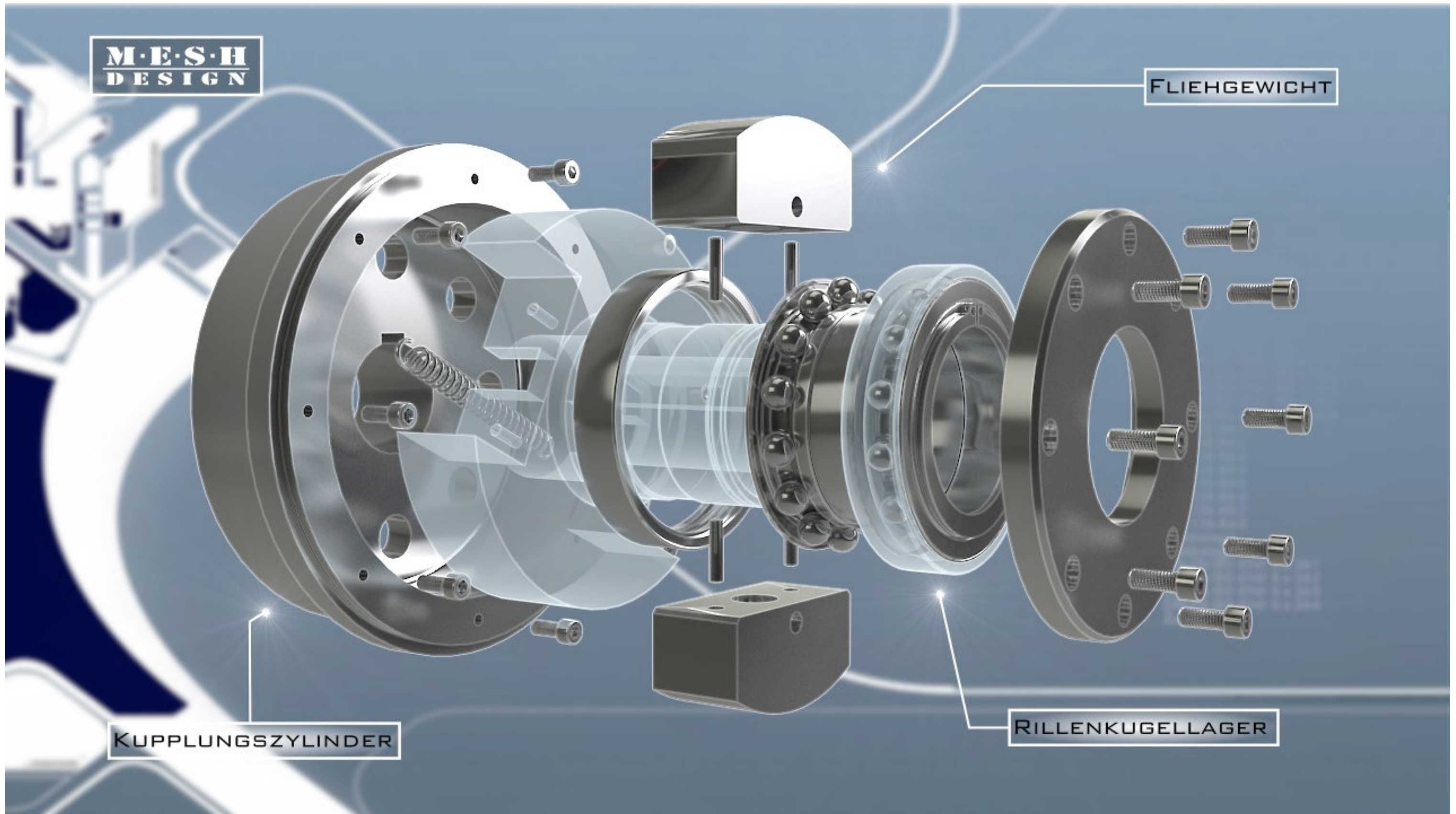


ALIGNED SECTION A-A (1:2)

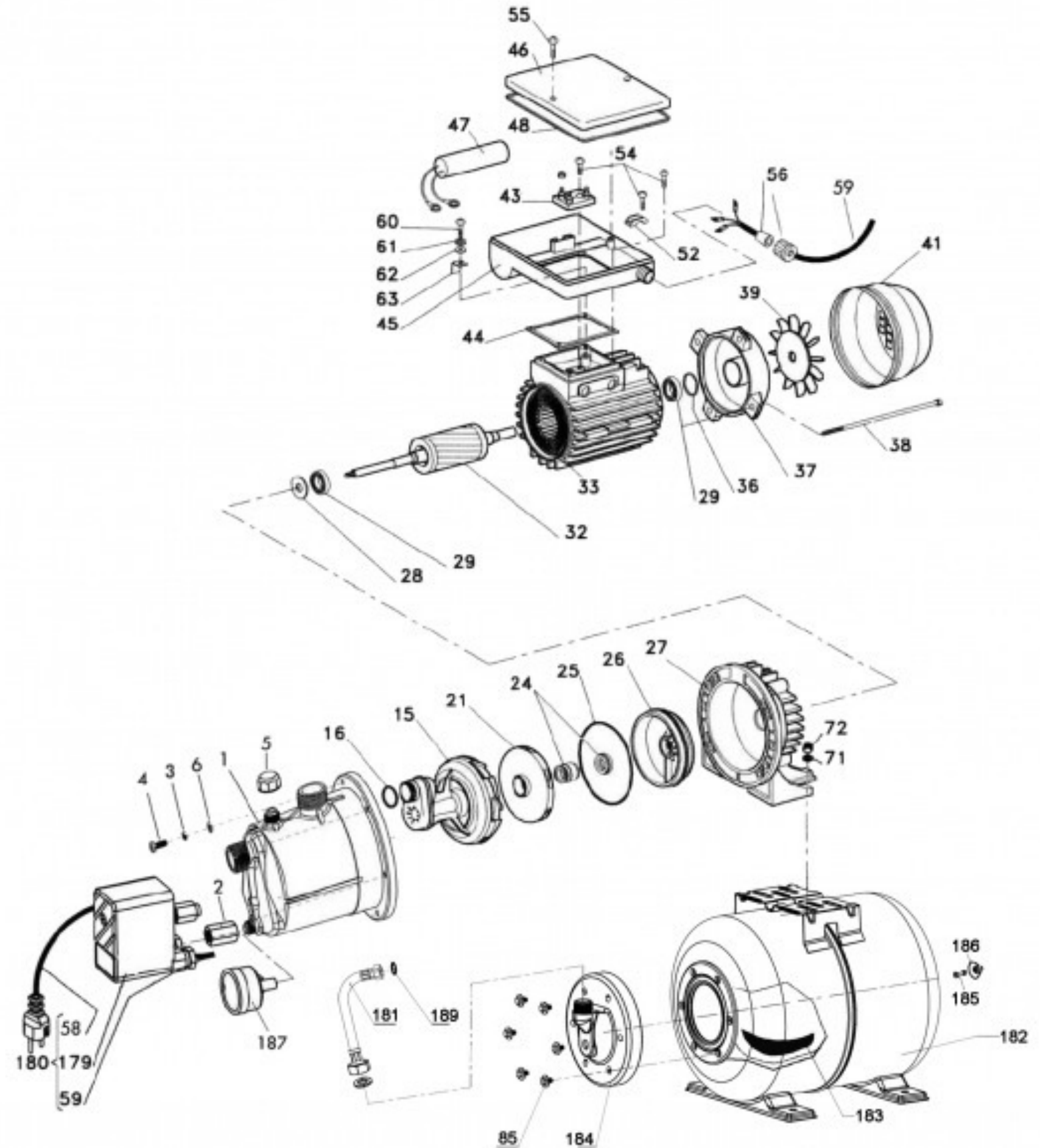


3D VIEW #2

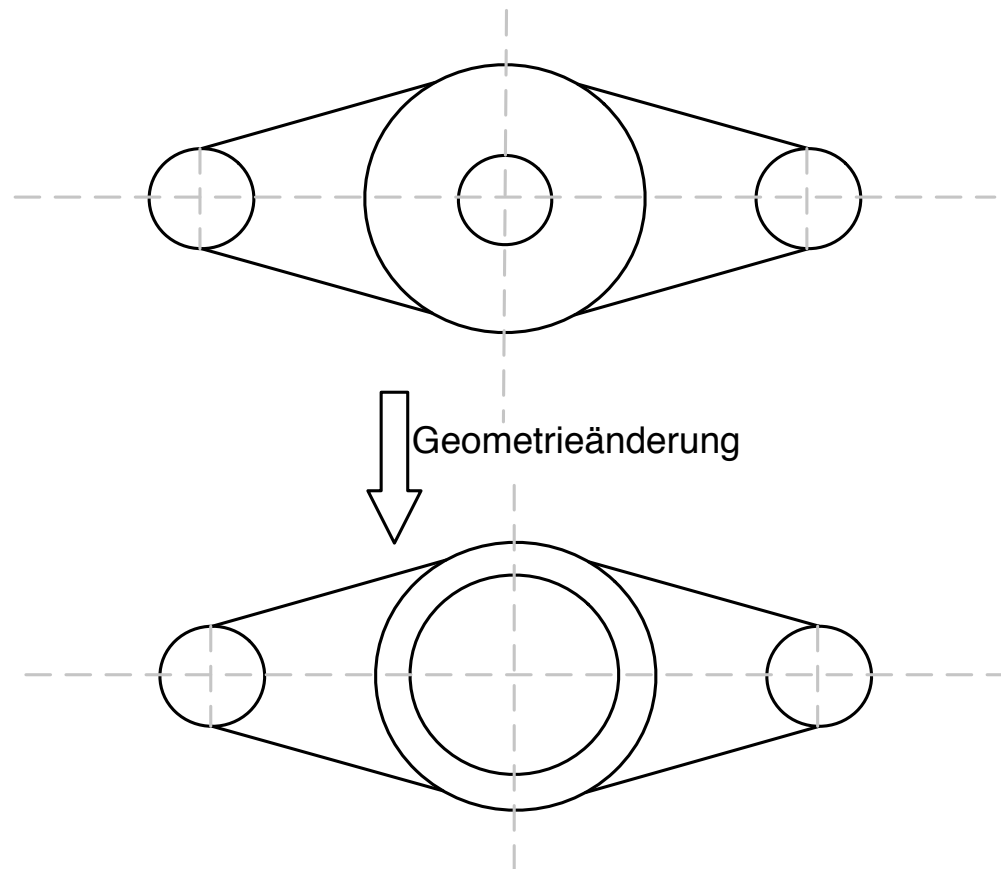
|                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| AutoCAD 3<br>3D Modeling |                            |
| PROJECT:                 | Lesson 14<br>Practice 14_2 |
| DRAWING TITLE:           | CONTROL ARM                |
| DRAWN BY:                | KB                         |
| DATE:                    | 03/08/2013                 |
| SCALE:                   | 1:2                        |
| CLASS:                   | CADD3                      |
| CHECKED BY:              | KB                         |
| DRAWING NUMBER:          | <b>M-1</b>                 |



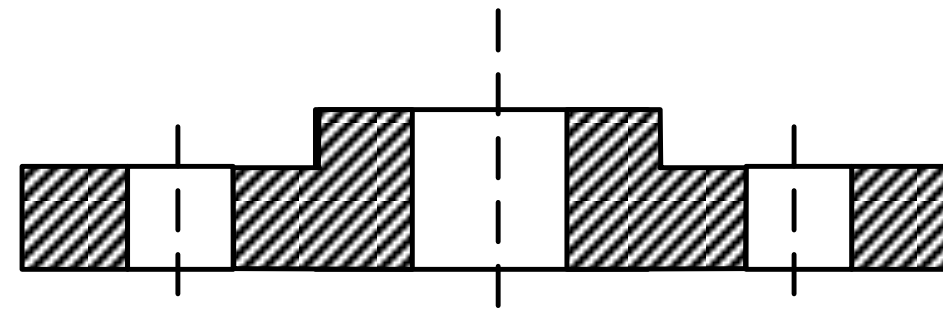
# CAD-Beispiele



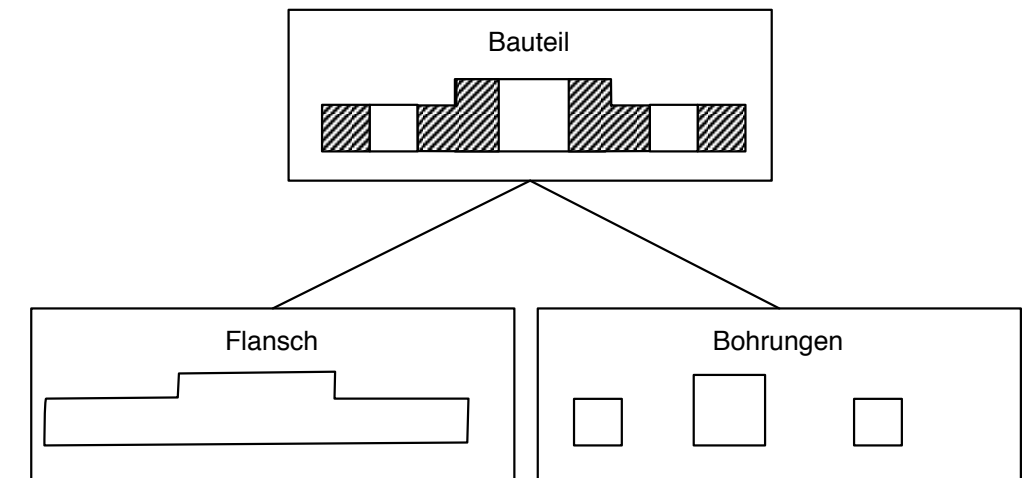




Manipulation

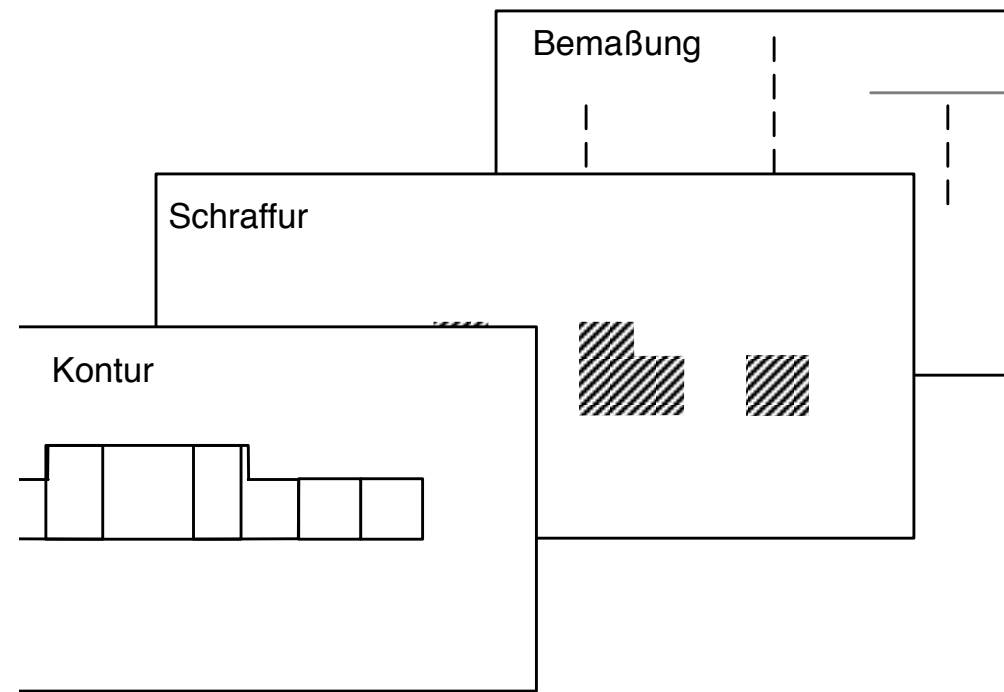


Schraffur

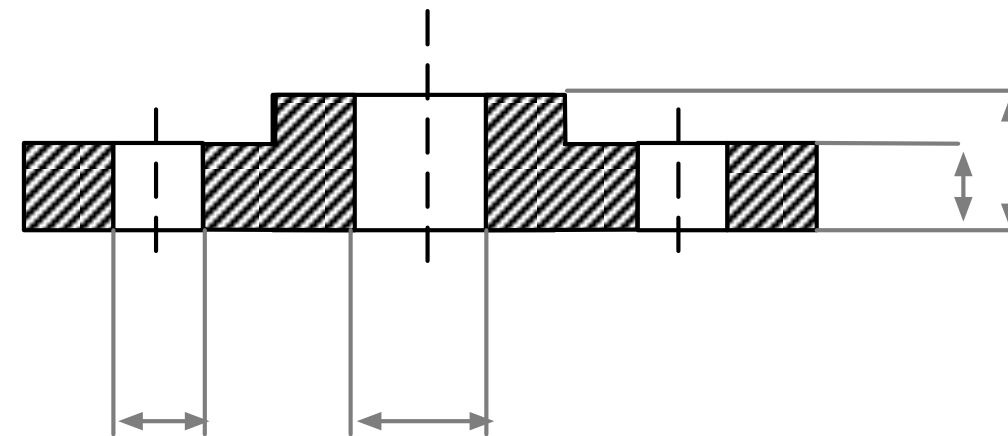


Manipulierbare Geometriegruppen

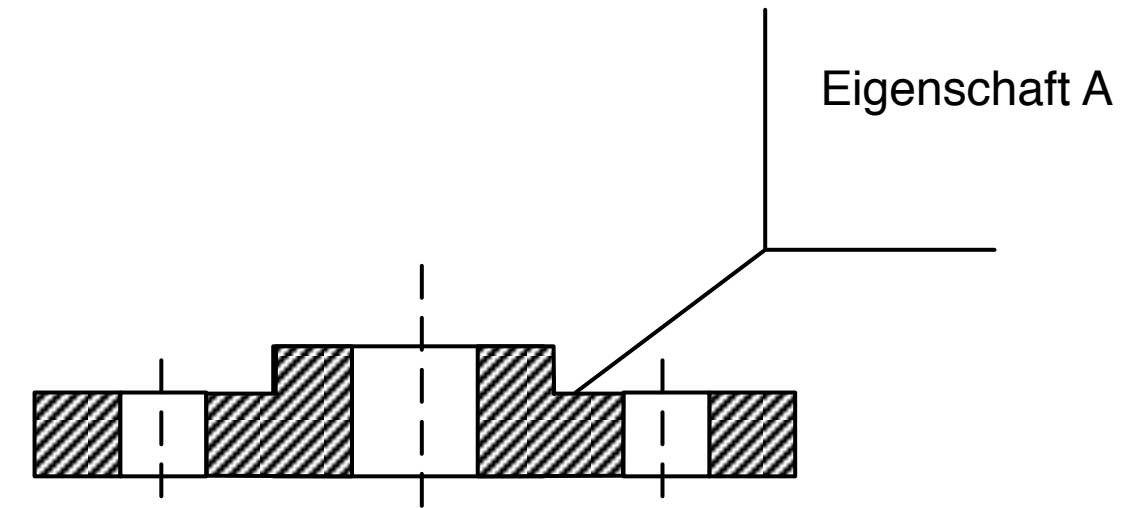
# Weitere CAD-Funktionen



Ebenen-/Layertechnik



Bemaßung

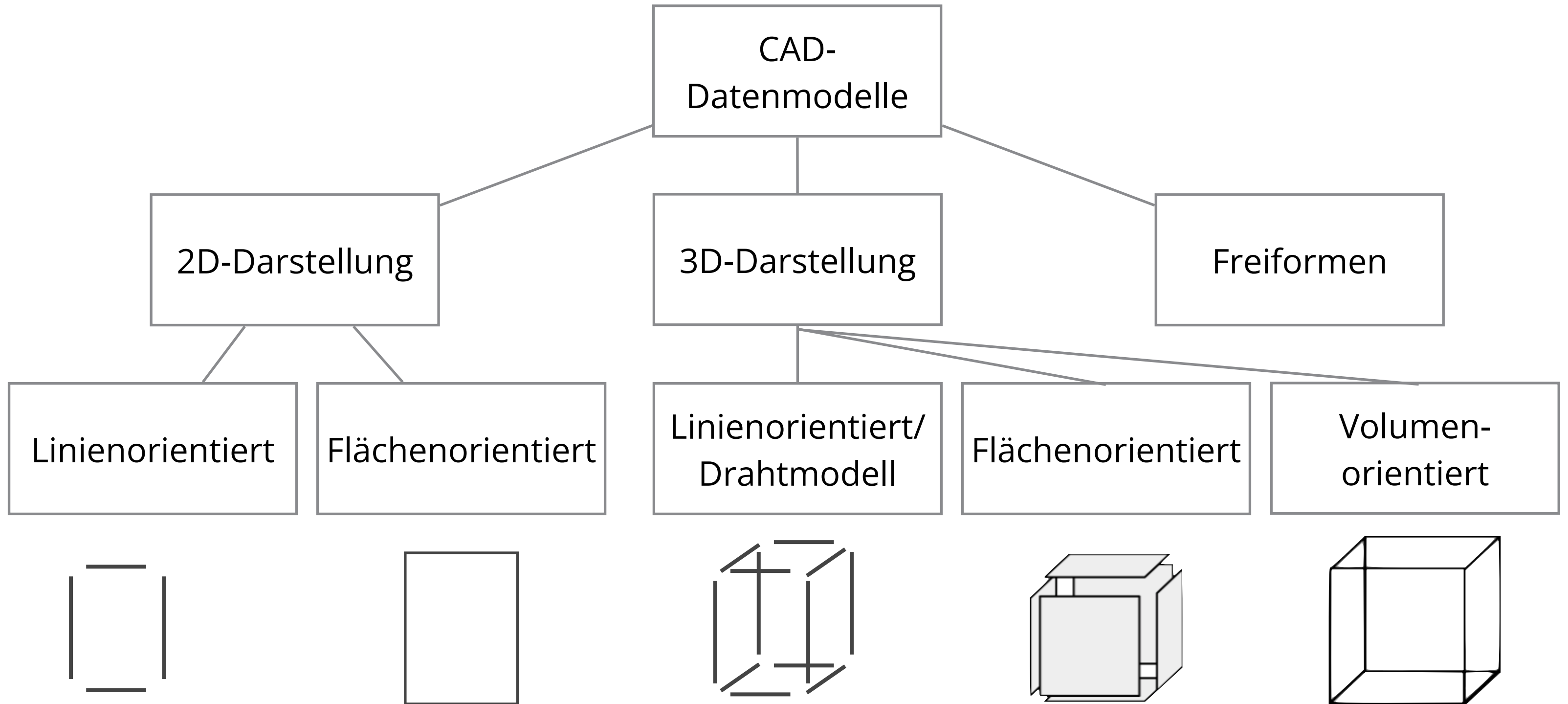


Attribute

# Zusätzliche CAD-Funktionen

---

- Anbindung an NC / 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 (DMS)
- 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)



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



Konstruktion

Computergestützte Konstruktion

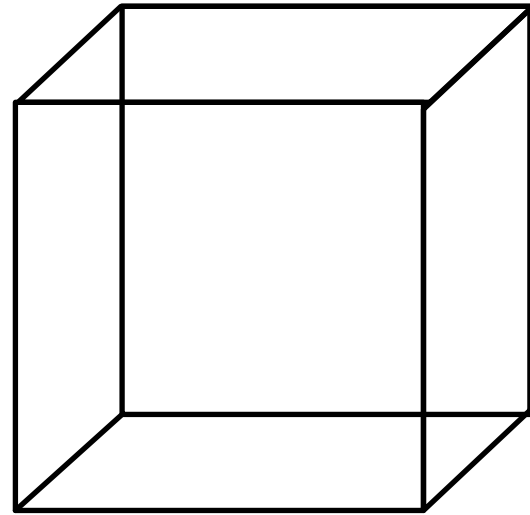
Computer Aided Design

**Digitale Repräsentation von CAD-Objekten**

Rapid Prototyping/Generative Fertigungsverfahren

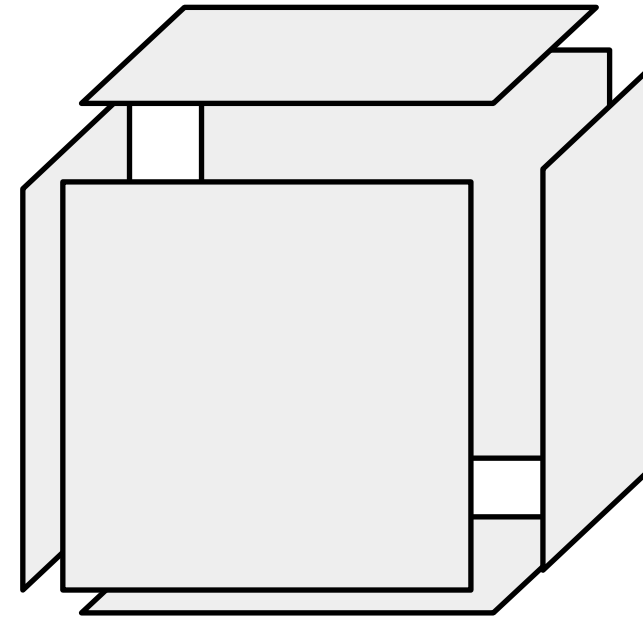
# Vergleich der 3D-Modelltechniken

---



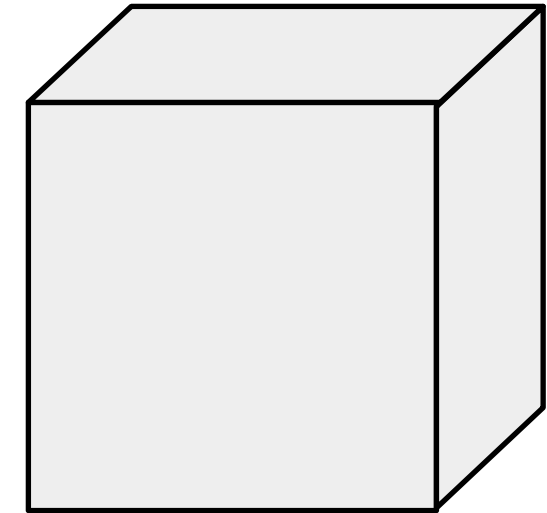
## 3D-Drahtmodell

- 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

# Boundary Representation (BRep)-Modell

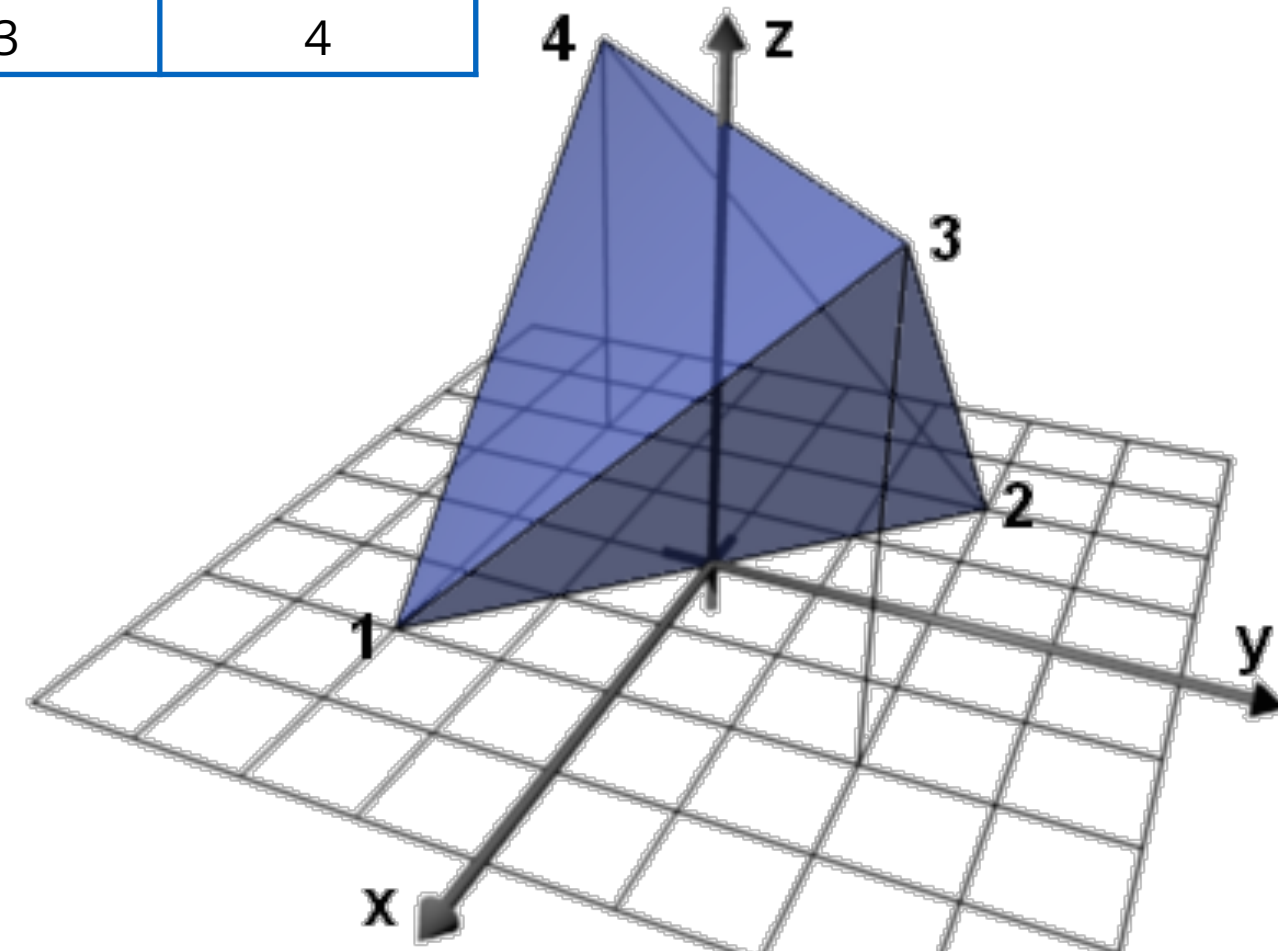
Beim BRep-Modell wird das Volumen durch die umhüllenden Begrenzungsflächen sowie die Lage des Materials relativ zu den Begrenzungsflächen beschrieben. Es ist ein um Materialvektoren erweitertes Flächenmodell.

| 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           | 3           |
| 4         | 1           | 4           |
| 5         | 2           | 4           |
| 6         | 3           | 4           |

| Flächennr. | Kantenfolge |
|------------|-------------|
| 1          | 1 2 3       |
| 2          | 3 6 4       |
| 3          | 2 5 6       |
| 4          | 1 4 5       |

| Volumennr. | Orientierung | Begrenzungs-flächen<br>(Flächennr. 1..x) |
|------------|--------------|--|
| 1          | 1            | 1 2 3 4                                  |



# Bewertung BRep-Modell

---

## Vorteile

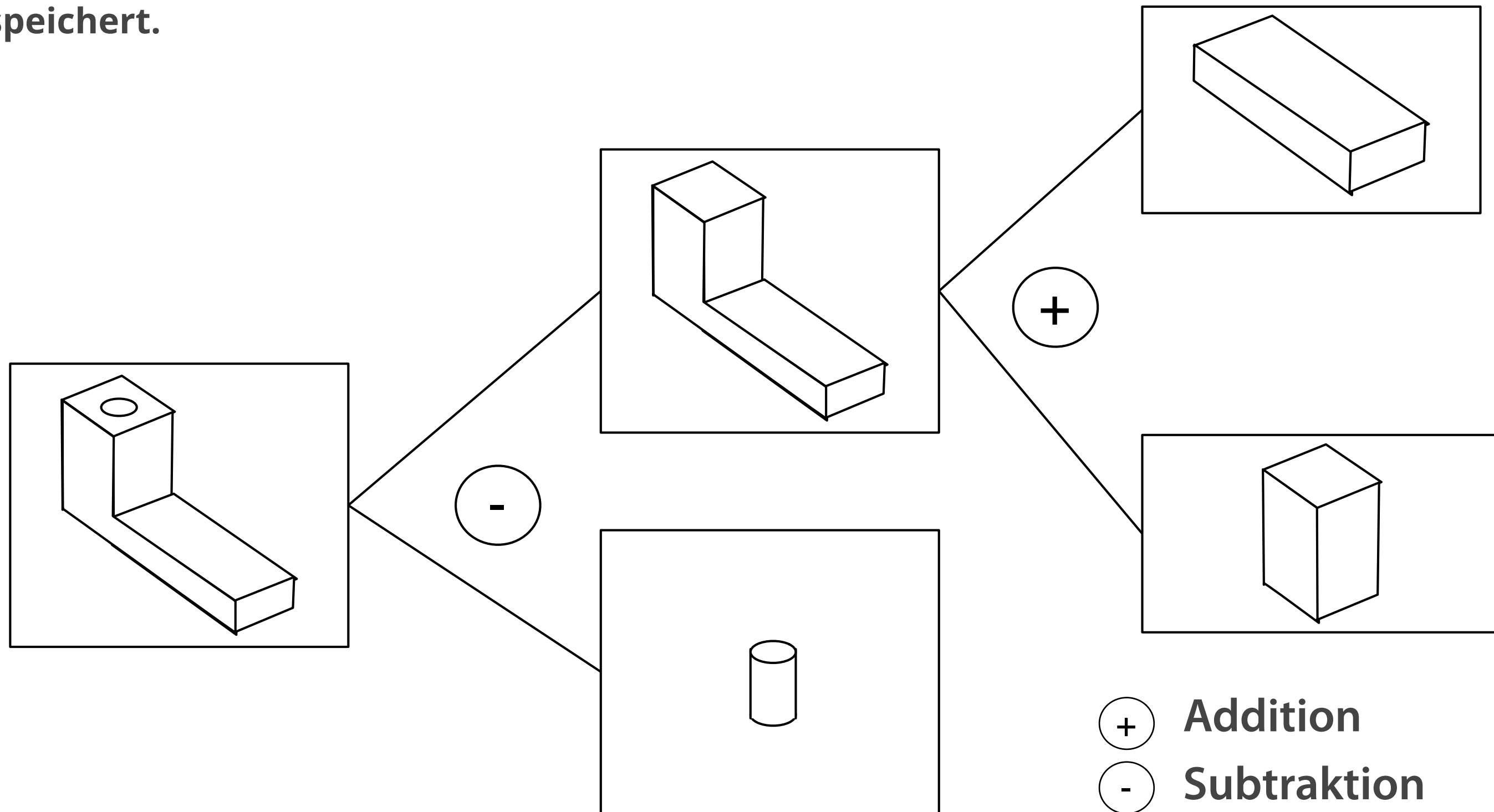
- Abgeschlossenheit und Konsistenz werden durch Algorithmen gewährleistet
- Das dargestellte Modell stellt jederzeit ein explizites und vollständiges Abbild der Geometrie dar
- Alle geometrischen Elemente im Modell können direkt angesprochen werden
- Beliebige geformte Volumenelemente möglich
- Keine 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
- Freiform Körper sind nicht beschreibbar

# Constructive Solid Geometry (CSG)-Modell

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



# 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

# 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

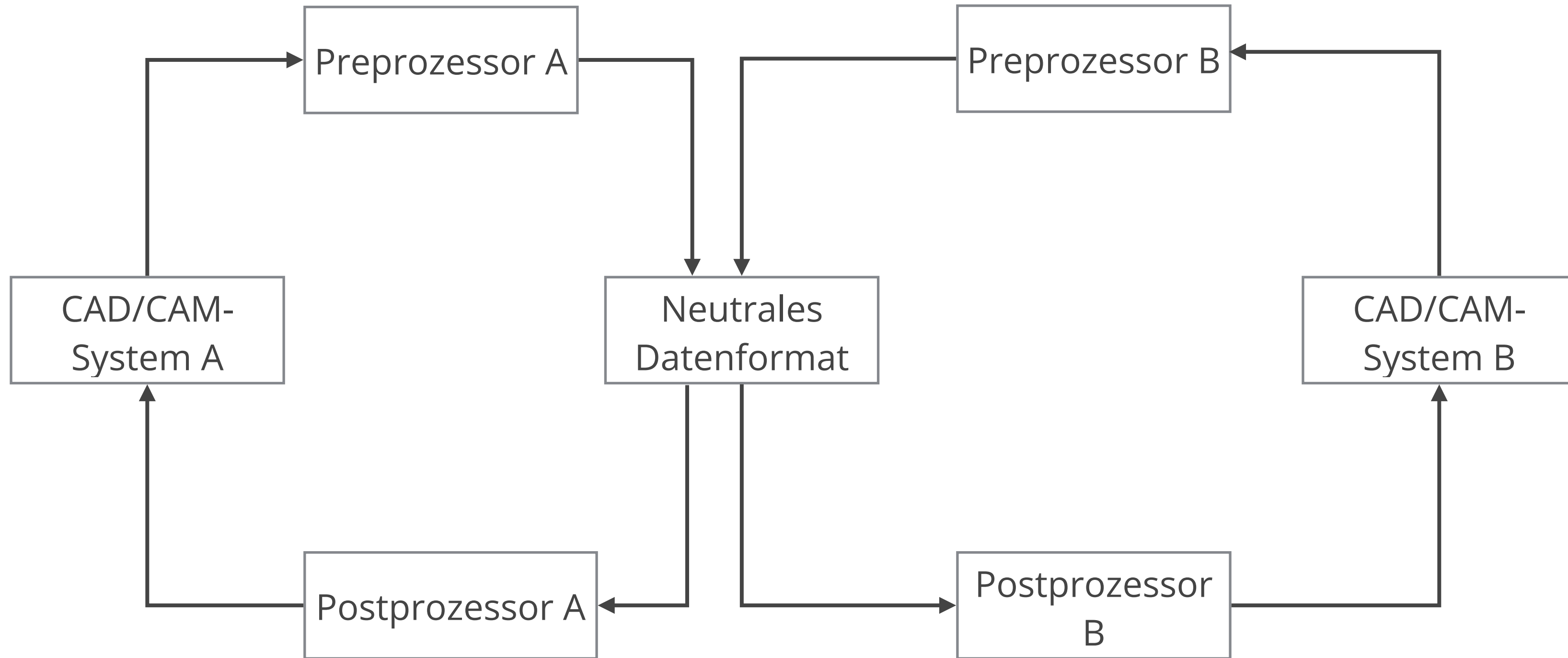
### Gespeicherte Daten

- Volumenprimitive mit Transformationen
- Verknüpfungshistorie mittels boole'schen 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

# Datenaustausch zwischen CAD-Systemen



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



## AutoCAD

Von Autodesk

- Architektur
- Maschinenbau
- GIS



## SolidWorks

von Dassault Systèmes

- Maschinenbau
- Anlagenbau
- Werkzeug- und Formenbau
- Design



## hiCAD

von ISD Software und Systeme GMBH

- Maschinenbau
- Blechbearbeitung
- Stahl- und Metallbau
- Fassadenbau

# Datenaustauschformate

---

## ACIS

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

## DXF:

### Drafting Exchange Format

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

## IGES: Initial Graphics Exchange Specification

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

## STEP: Standard for the Exchange of Product Model Data

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

## STL: Stereolithographie Language

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

## VDA-FS: Verband der deutschen Automobilhersteller - Flächenschnittstelle

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

# 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)
- Produktlebenszyklusmanagement (PLM)
- 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

# STEP Bestandteile

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



Konstruktion

Computergestützte Konstruktion

Computer Aided Design

Digitale Repräsentation von CAD-Objekten

**Rapid Prototyping/ Generative Fertigungsverfahren**



# Anforderungsabhängige Einteilung additiver Fertigungsverfahren

---

## Rapid Prototyping

- schnelle Herstellung von Prototypen oder Modellen zur Evaluierung von Design und Funktionalität, ohne den Einsatz traditioneller Werkzeuge

## Rapid Tooling

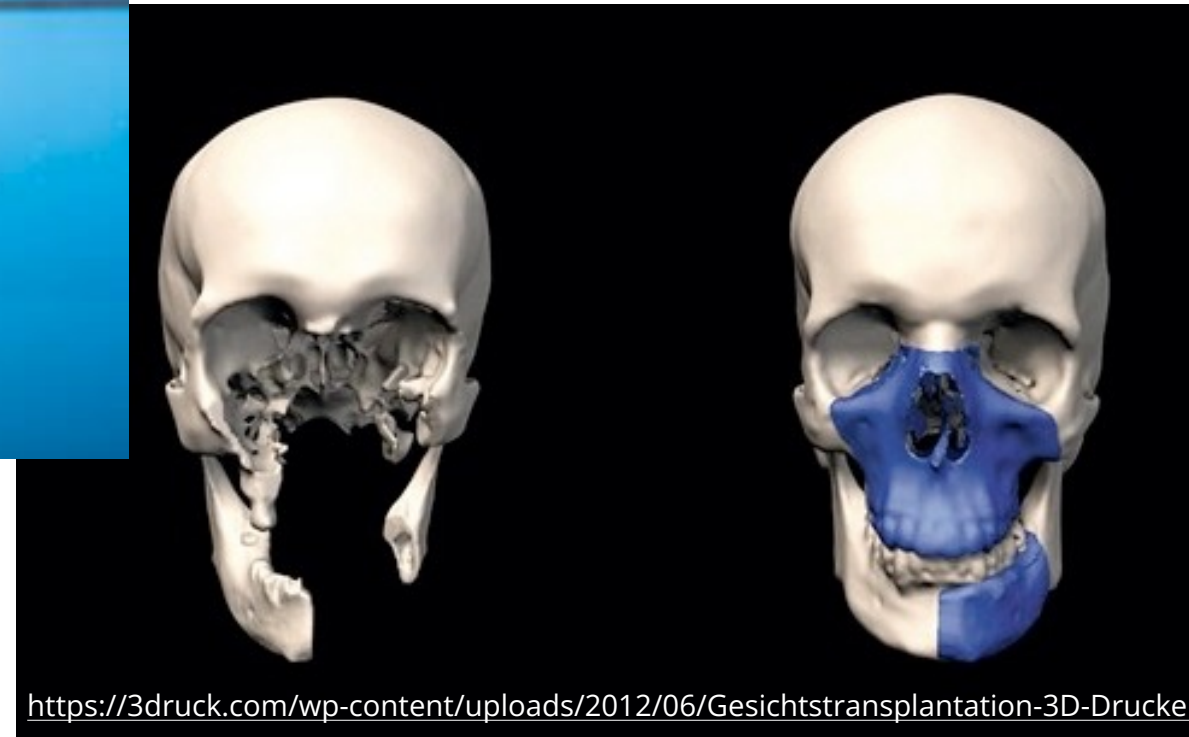
- beschleunigte Produktion von Prototypenwerkzeugen oder Werkzeugkomponenten, um Stückzahlen jenseits der bei Rapid Prototyping üblichen Mengen zu realisieren

## Rapid Manufacturing

- direkte und schnelle Produktion von Endprodukten oder Bauteilen, oft unter Einsatz additiver Fertigungstechnologien, ohne die Nutzung in traditioneller Weise hergestellter Werkzeuge

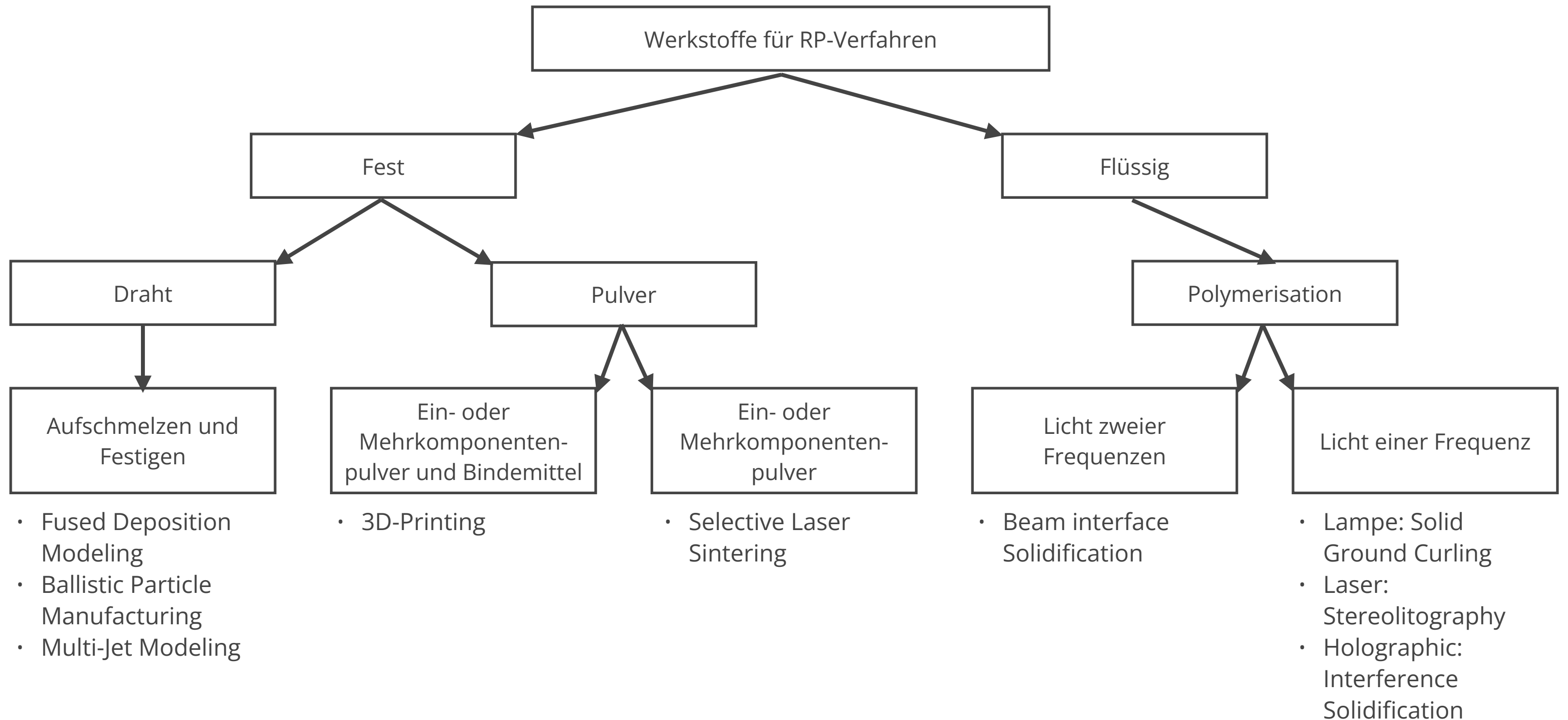
Bei Additiven Fertigungsverfahren wird das Werkstück element- oder schichtweise aufgebaut.

# 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

# Einteilung generativer Fertigungsverfahren

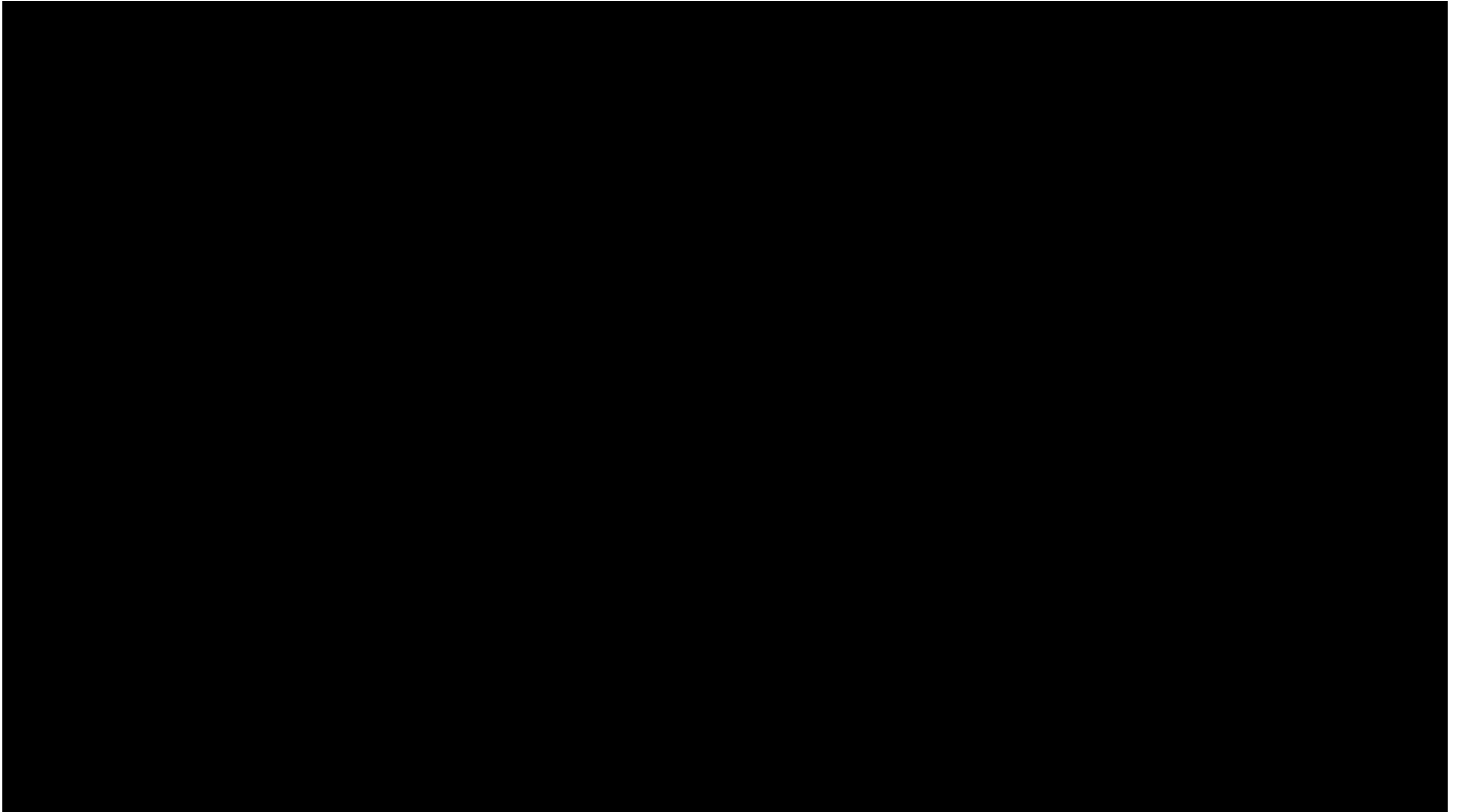


# Industriell relevante Rapid Prototyping Verfahren

| Deutsche Bezeichnung       | Englische Bezeichnung            | Abkürzung |
|----------------------------|----------------------------------|-----------|
| Stereolithographie         | Stereolithography                | SL        |
| 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       |

# It's Video-Time: Stereolithographie

---

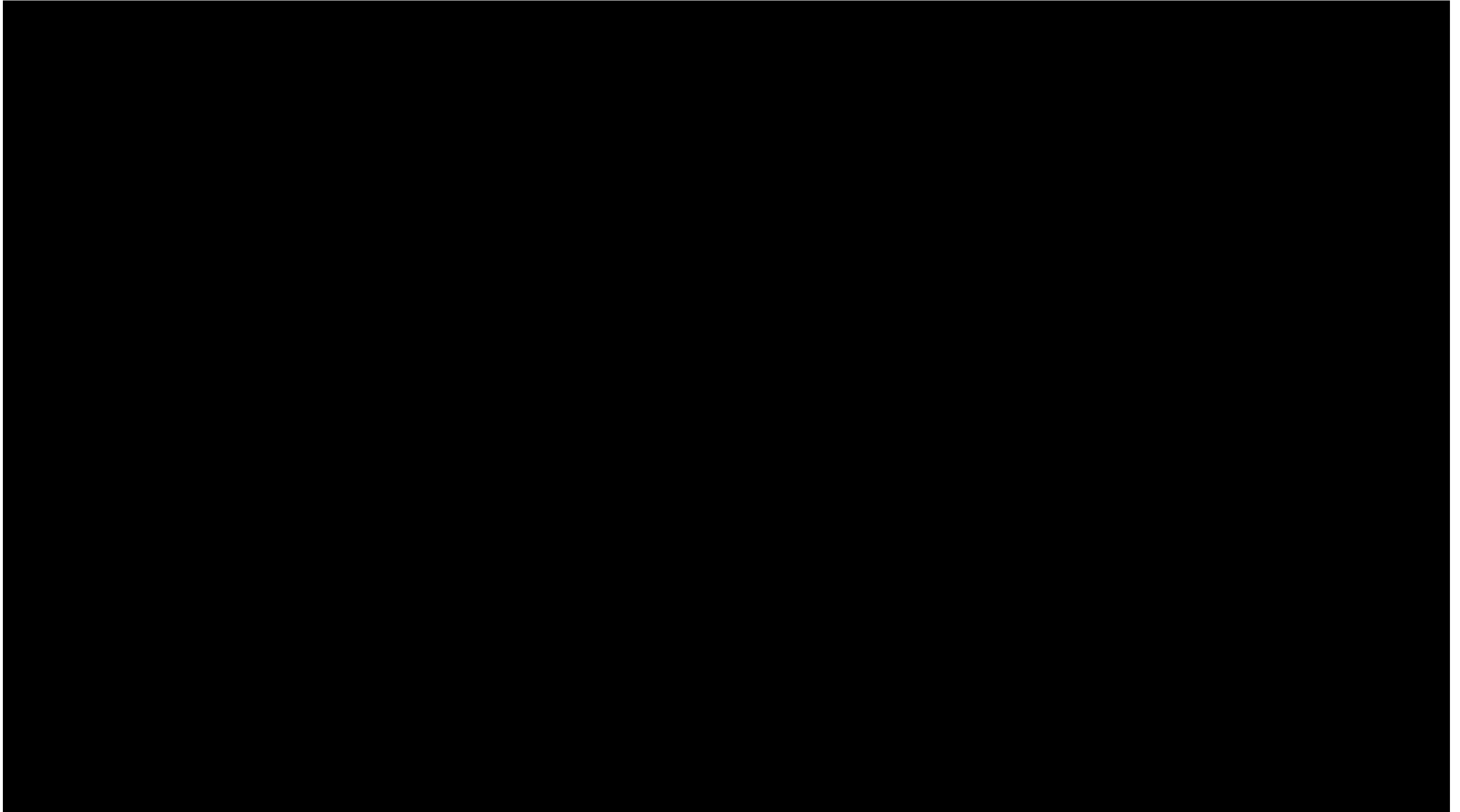




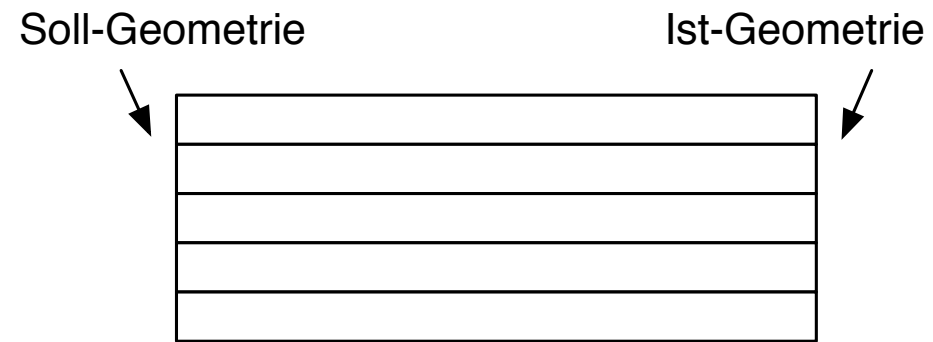
**Your 3D Printing Solution**  
Send us your .STL file, We will advise you accordingly!

# It's Video-Time: Fused Deposition Modeling

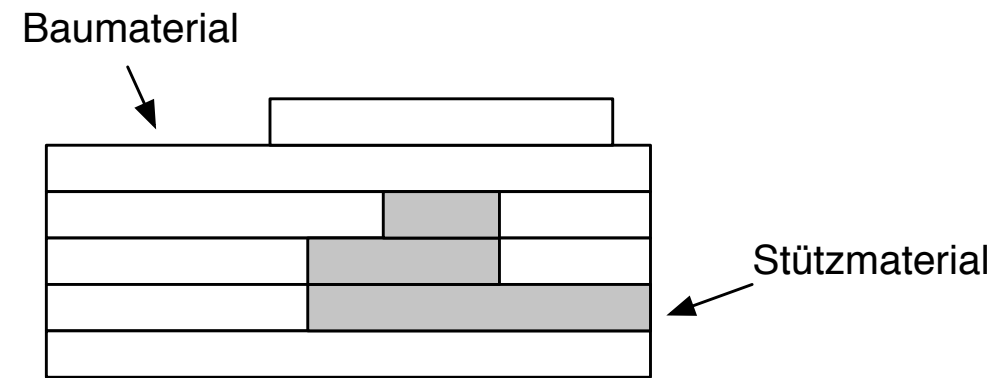
---



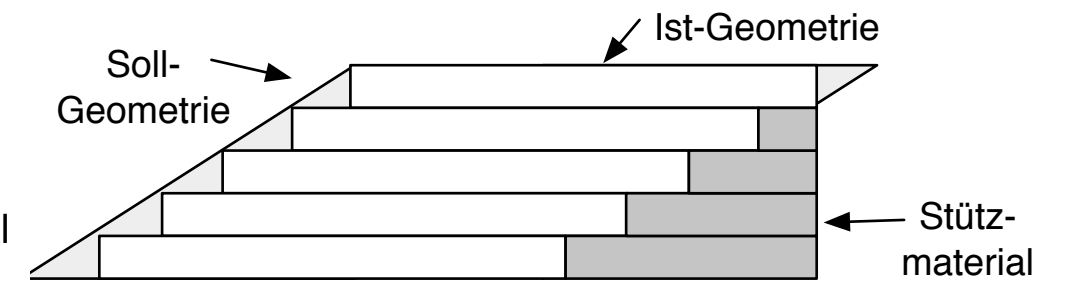
# Schichtenaufbau



Vertikaler Modellaufbau,  
einfache Geometrie



Modellaufbau mit Hohlraum



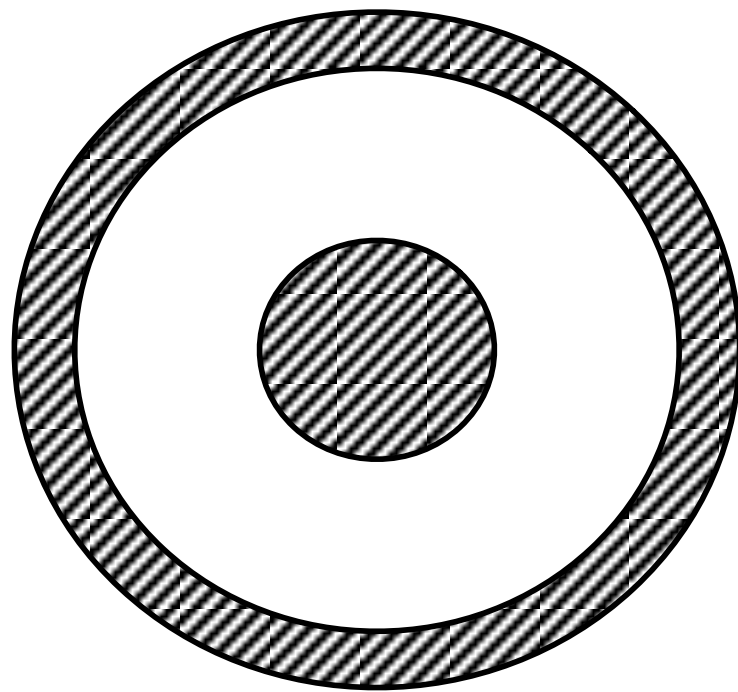
Modellaufbau mit Überhang

# Herausforderungen

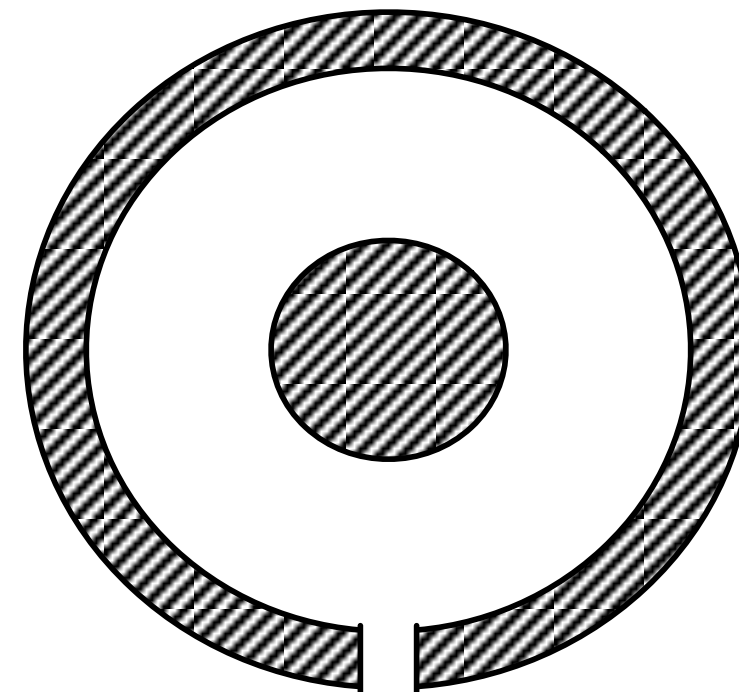
---

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

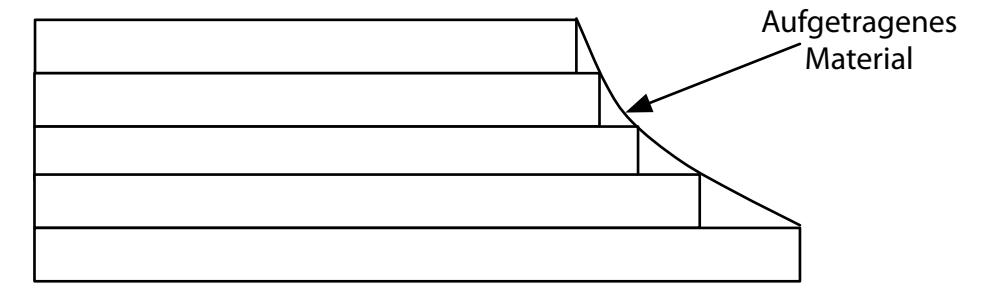
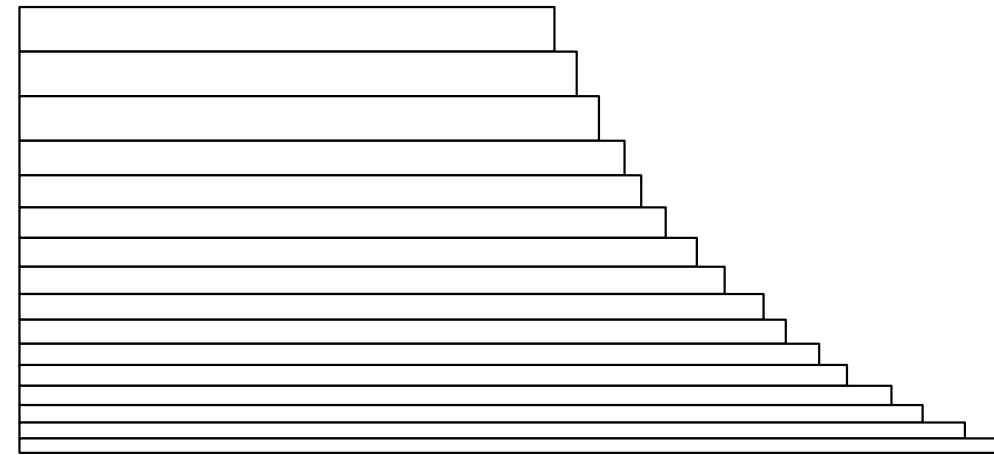
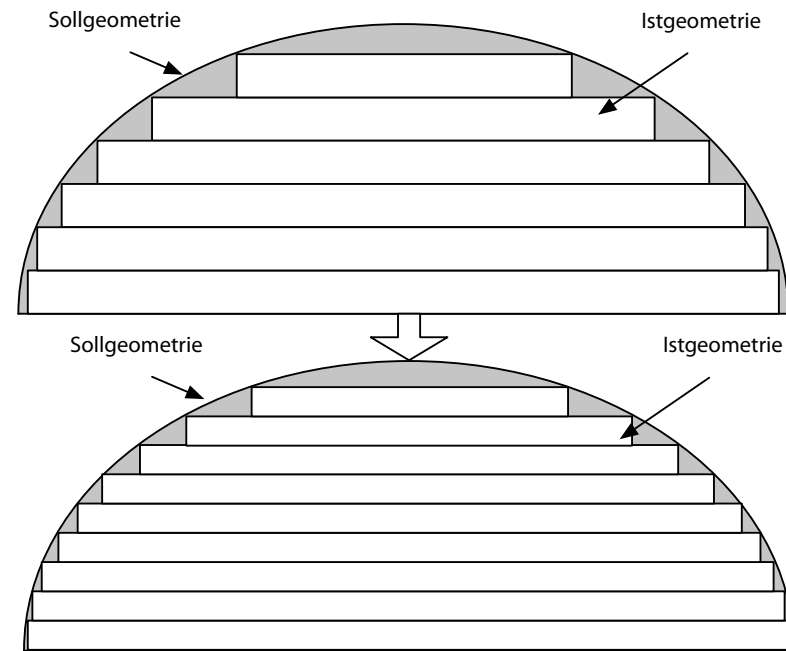
Fertigung einer "Kugel in der Kugel"



Herausforderung beim RP:  
Wie kann das Stützmaterial entfernt werden?



Lösung: kleine Öffnung



## 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

## Problem: Treppenstufeneffekt durch diskrete Schichten

# 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

## Anwendungen in unterschiedlichen Branchen

- Produktion: Mass Customization
- Medizinbranche: Druck individueller Implantate
- Bauindustrie: Riesendrucker für den Hausbau
- weiter: Mode, Schmuck, Musikinstrumente ...

# Zum Nachlesen



## Kontakt

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

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

*Visitors* Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam

*Tel* +49 331 977 3322

*E-Mail* [ngronau@lswi.de](mailto:ngronau@lswi.de)

*Web* [lswi.de](http://lswi.de)

Gronau, N.:

Industrial Internet of Things – Grundlagen

Berlin 2018, ISBN 978-3955452476 und 978-3955452612



# Literatur

---

Appex - Product Development Prototyps Parts <https://www.appex.com/rapid-manufacturing.html>

Gausemeier, J. (2019). Rechnergestützte Entwicklung CAE/CAD: [https://web.archive.org/web/20210926062731/https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/Computer-Integrated-Manufacturing-\(CIM\)/Rechnerunterstutzte-Entwicklung-\(CAE-CAD\)/index.html/](https://web.archive.org/web/20210926062731/https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/Computer-Integrated-Manufacturing-(CIM)/Rechnerunterstutzte-Entwicklung-(CAE-CAD)/index.html/)

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 13030-1:2024: Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange

Lobeck, F.: Vorlesungsskript: CAD/CAE (CAD), 2012

Niemann, G., Winter, H., Höhn, BR., Stahl, K. (2019). Arbeitsmethoden in der Produktentwicklung. In: Maschinenelemente 1. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-55482-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-55482-1_1)

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.