

Vorlesung

CAD / CAE

(CAD)

Prof. Dr.-Ing. Frank Lobeck



ipe

Institut für Produkt Engineering

Organisatorisches

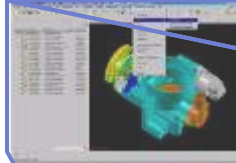
- Aktuelle Informationen und Ankündigungen: www.uni-due.de/vip/
- Übungen:
- SW Studentenversion: ->
- Ort: SK-010

- **Einleitung**
- CAD – Systeme
 - Parametrik / Featuretechnologie
 - Datenstrukturen
 - Schnittstellen
- CAD – CAx

CAD-Systeme

A thick, dark grey horizontal bar with a slight 3D effect, positioned below the title.

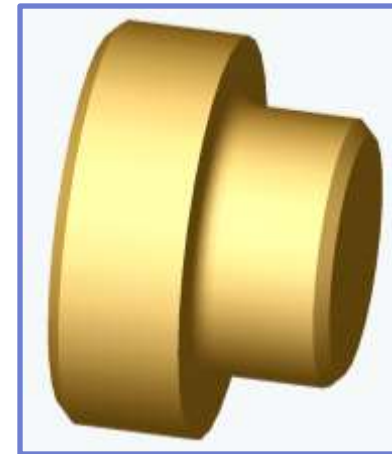
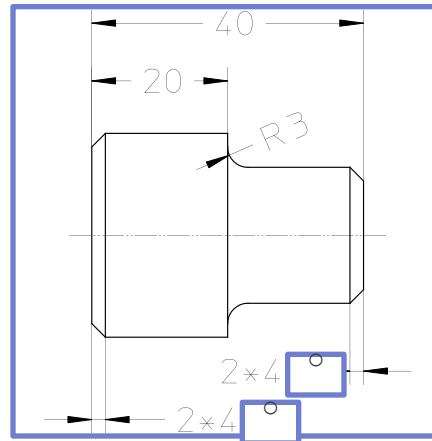
CAD



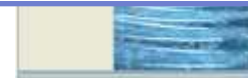
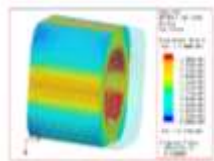
CAM



CAD: Computer Aided Design

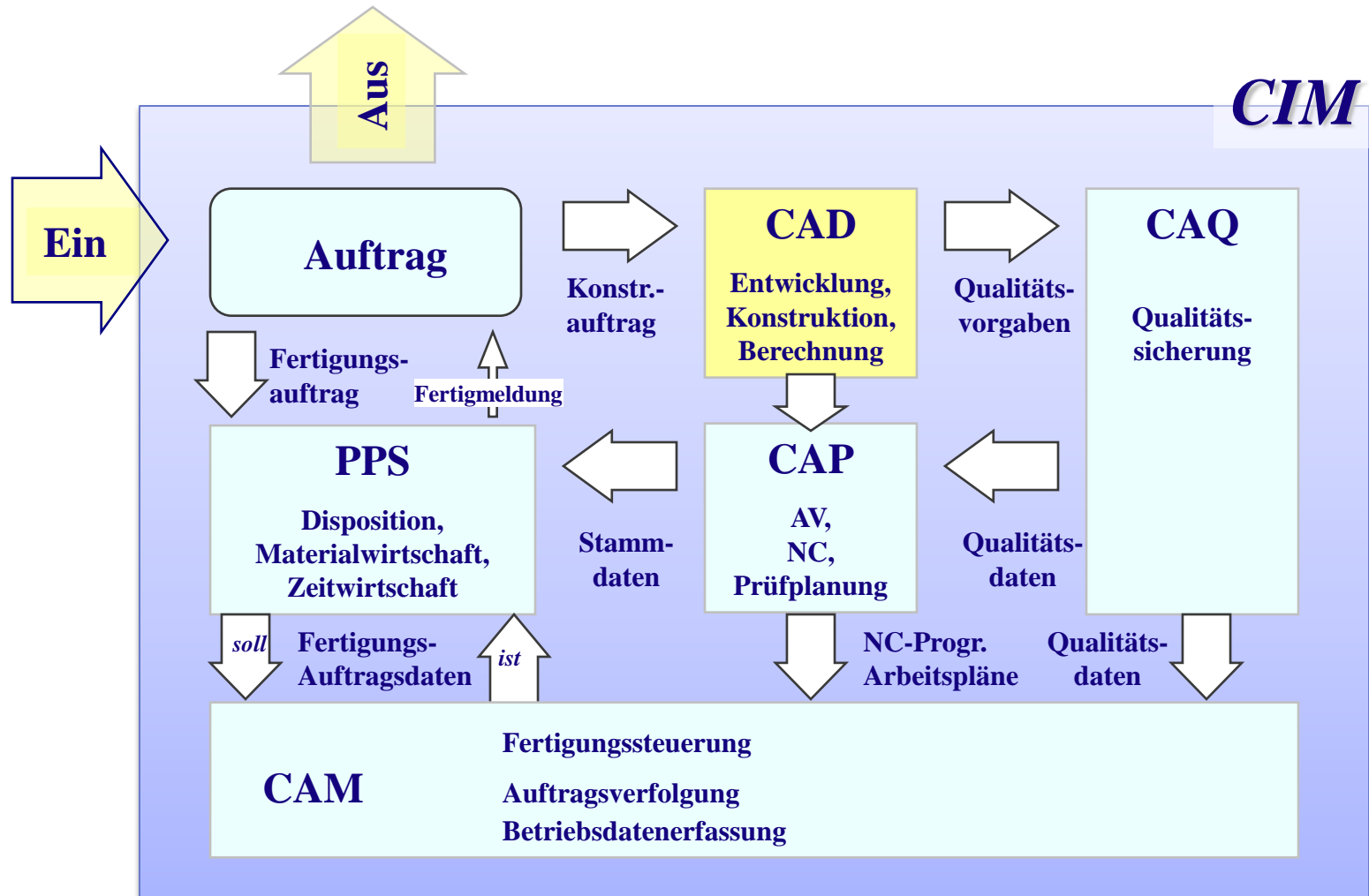


CAE



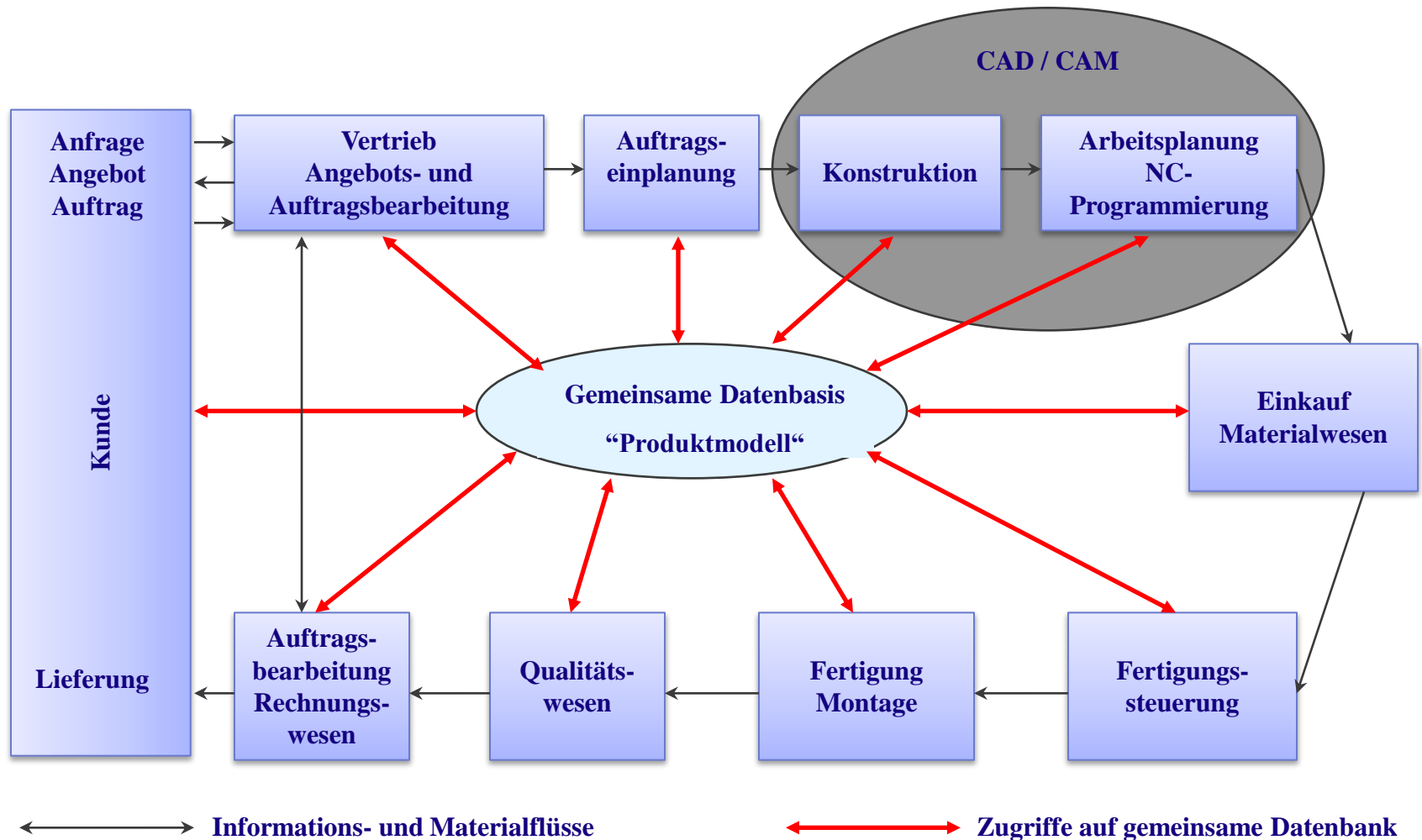
Grundlagen CAD





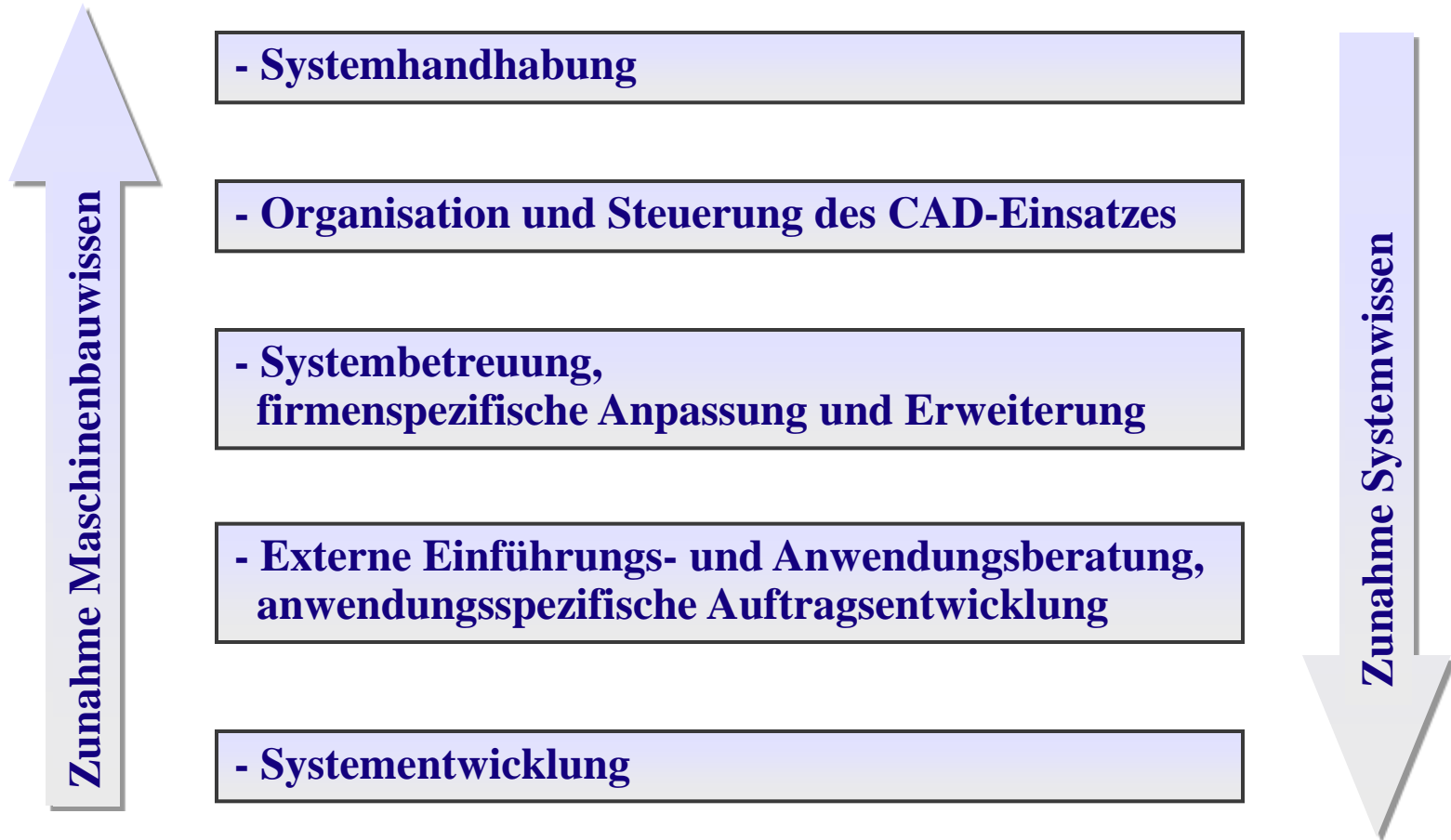
Quelle: Eigner /Maier

Heutiges Ziel: integrierte Datenverarbeitung mit gemeinsamer Datenbasis



Quelle: Henning

Ingenieuraufgaben im CAD-Umfeld



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

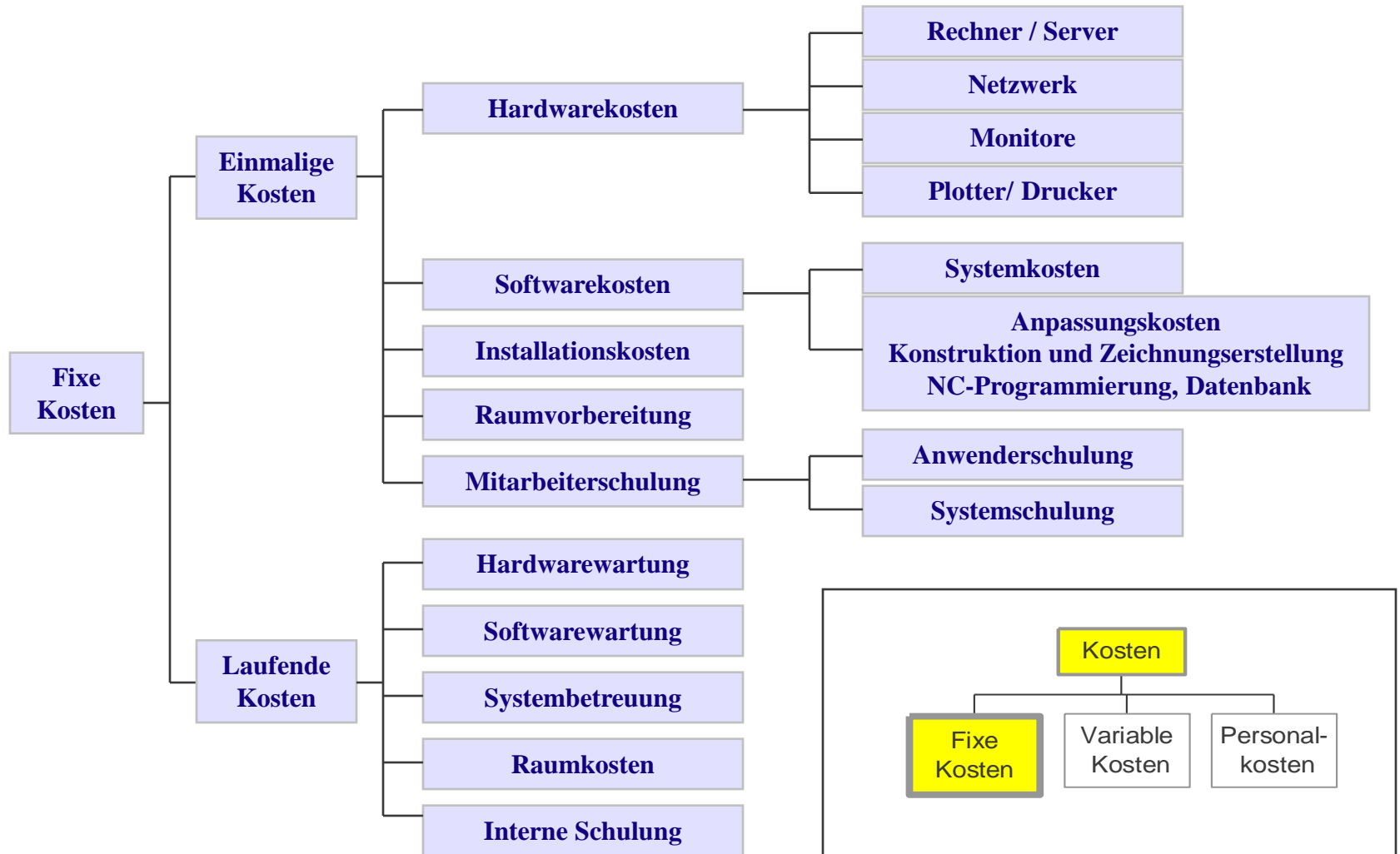
- Erstellen eines maßstäblichen Entwurfs
- Gestalten und Optimieren der Einzelteile

Ausarbeiten

- Erstellen von Fertigungszeichnungen
- Ableiten von Stücklisten
- Informieren (z.B. Lieferantenzzeichnungen, Projektmeetings ...)
- Dokumentieren (z.B. Erstellen von Montageanleitungen ...)

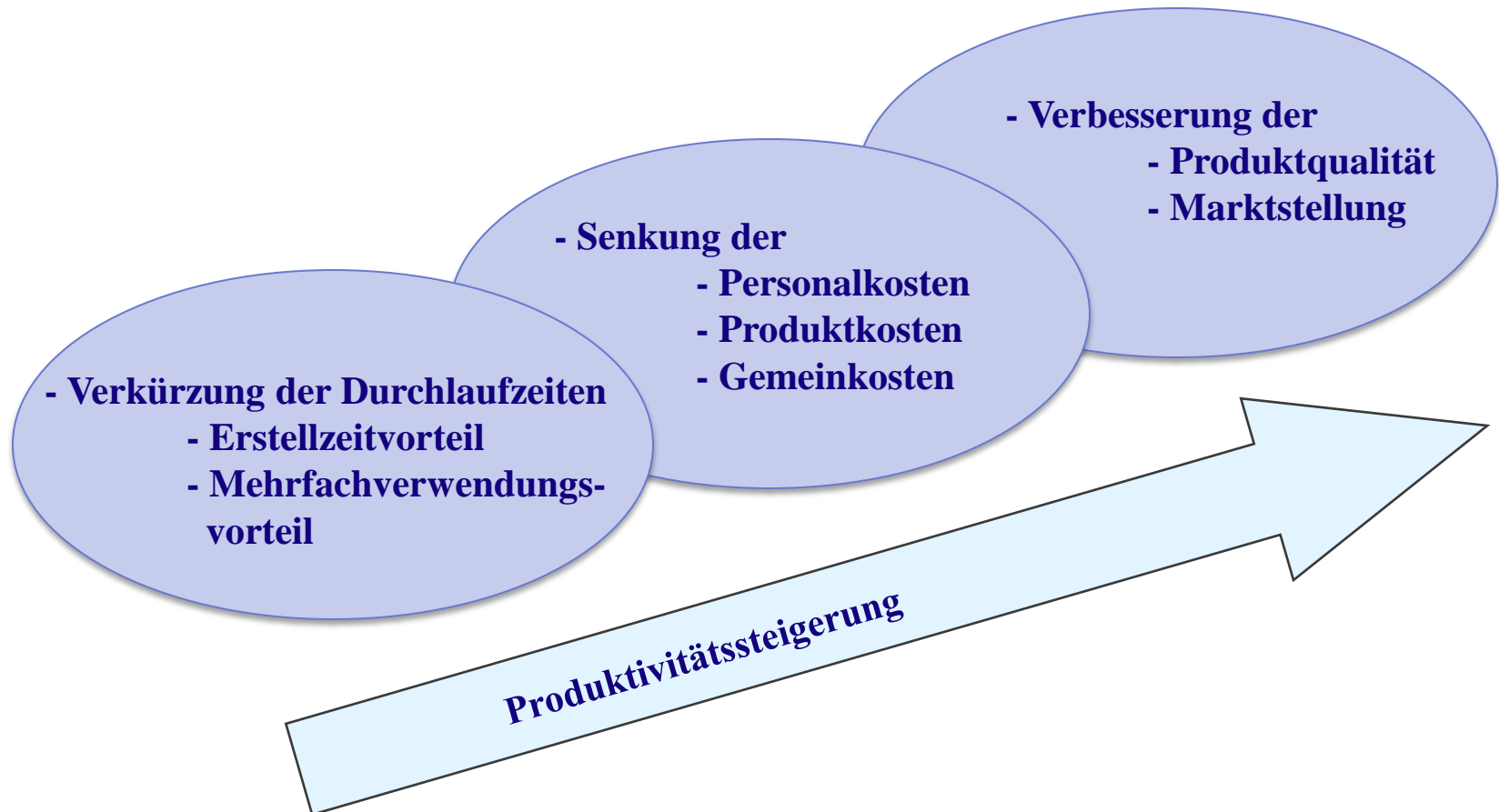
Ablauf nach VDI-Richtlinie 2222

Fixe Kosten des CAD-Einsatzes

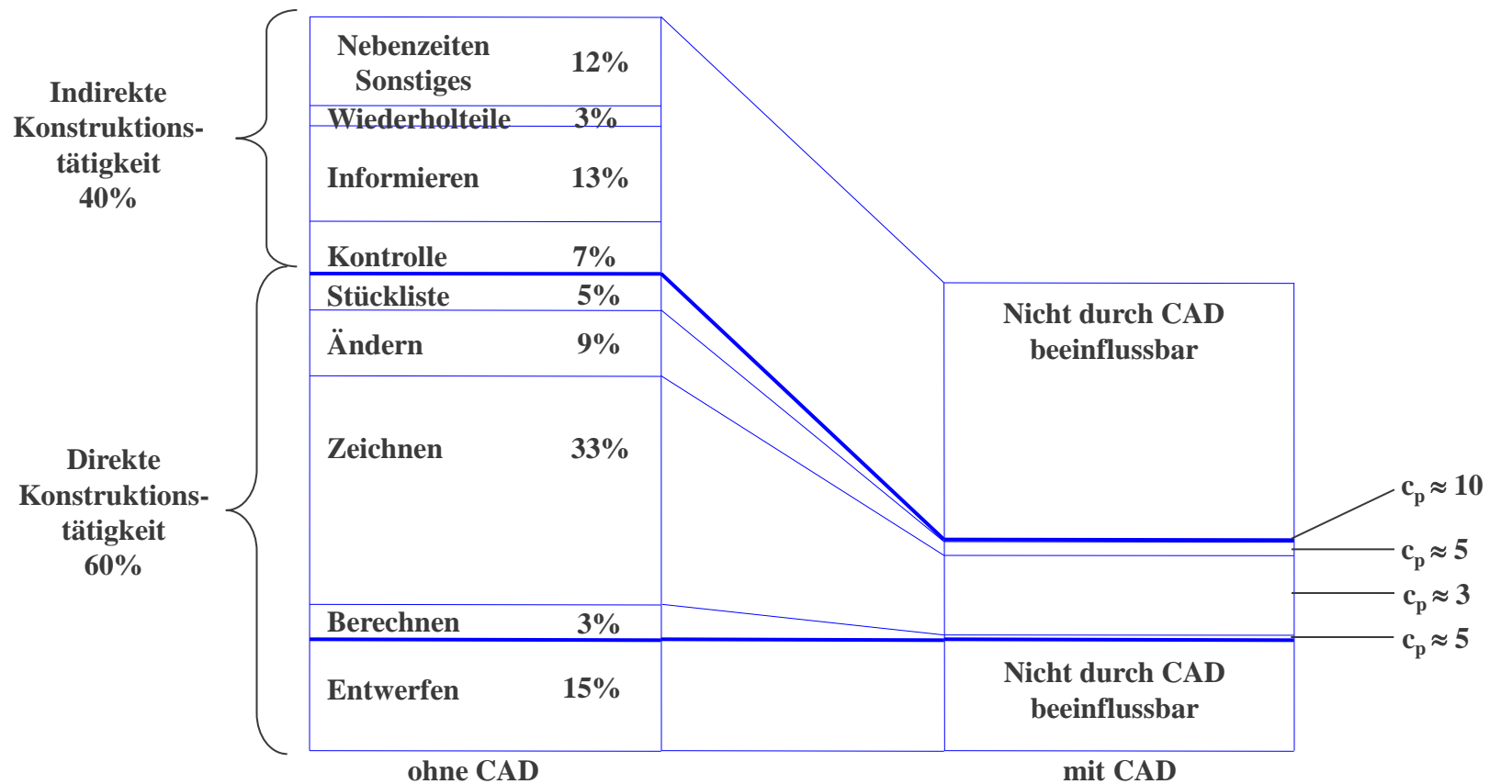


Quelle: Koch

Unternehmensvorteile durch CAD-Einsatz



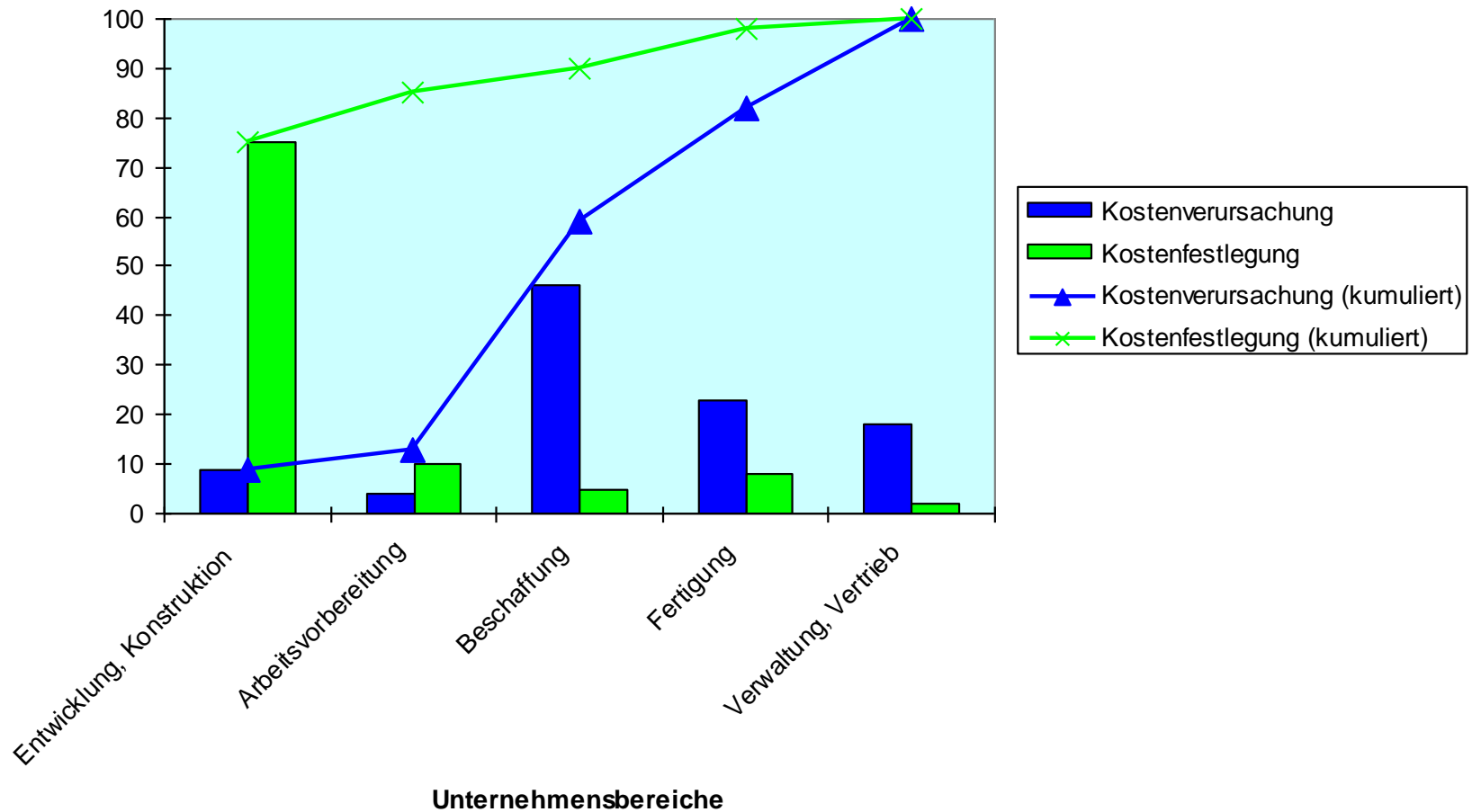
Auswirkungen des CAD-Einsatzes auf Tätigkeitsprofile



c_p : Produktivitätssteigerungs- bzw. Beschleunigungsfaktor

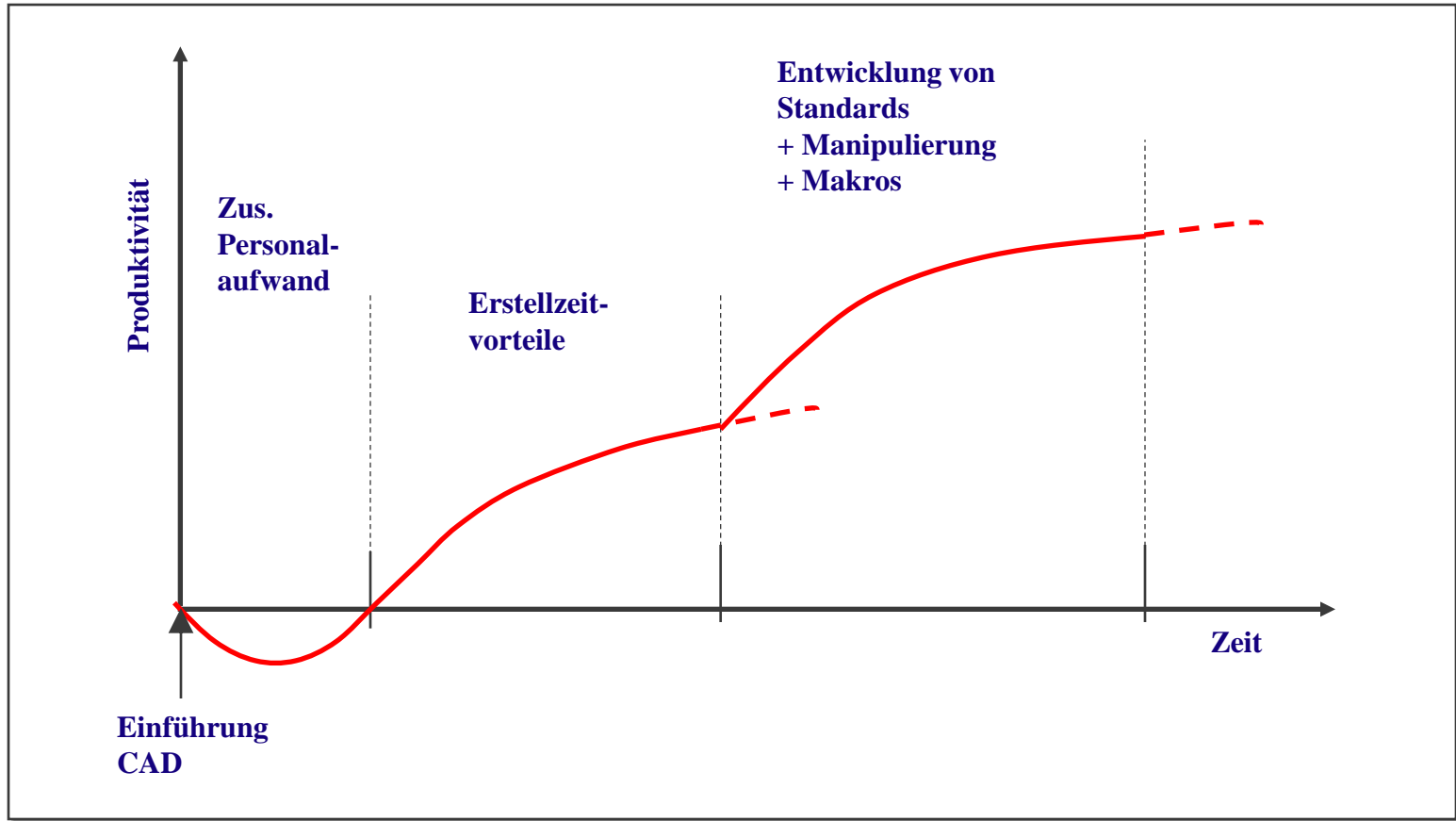
Quelle: Vajna, Weber, Schlingensiepen, Schlottmann CAD/CAM für Ingenieure, Vieweg-Verlag

Kostenfestlegung und -verursachung



Quelle: Vajna, Weber, Schlingensiepen, Schlottmann CAD/CAM für Ingenieure, Vieweg-Verlag

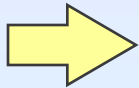
Zeitliche Entwicklung der Produktivität



Quelle: Henning

Vorteil 2D im Konstruktionsprozess:

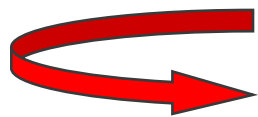
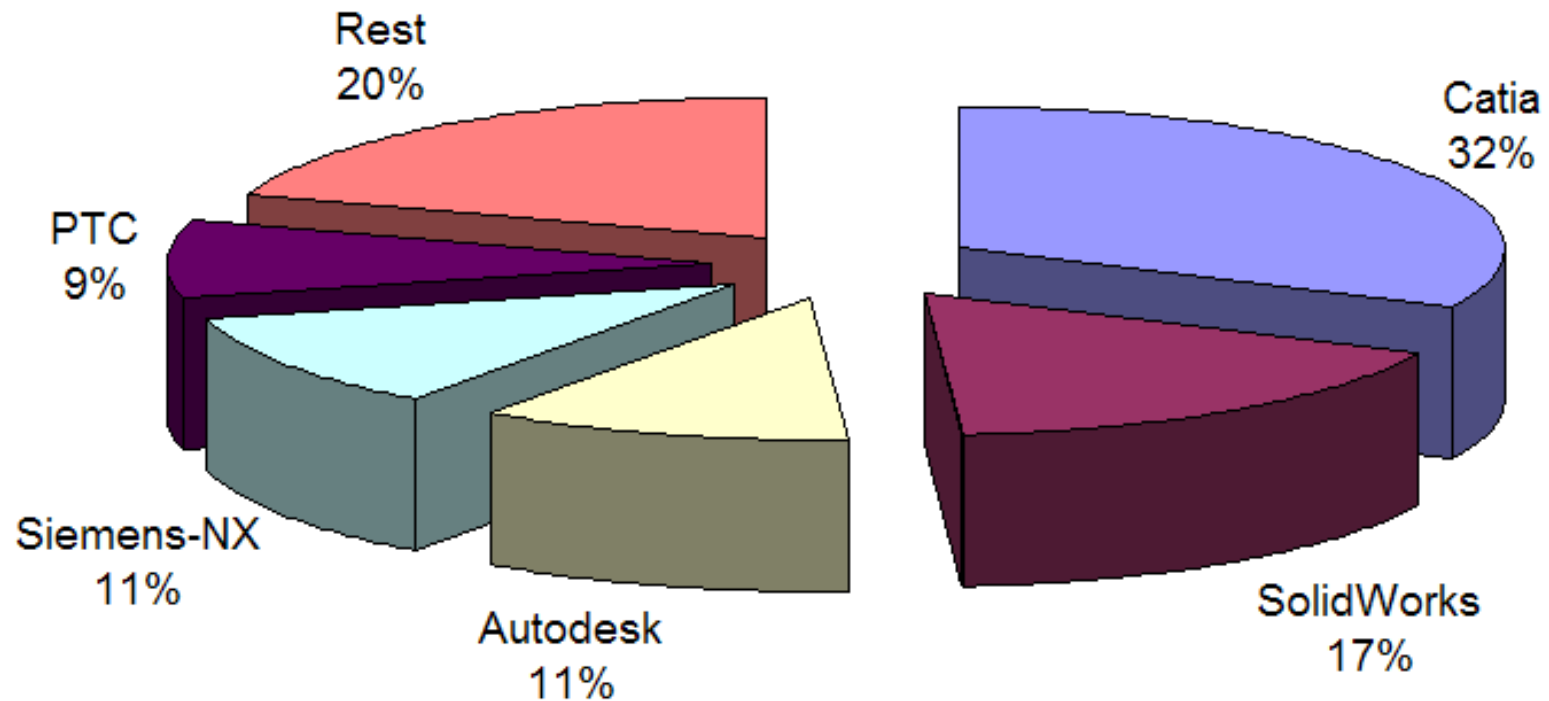
Erzeugung reiner 2D-Teile wie flache Blechteile oder Schemazeichnungen sowie einfache Rotationseinzelteile. Hier stellt 3D einen zusätzlichen Aufwand dar, dem kein Nutzen gegenübersteht.



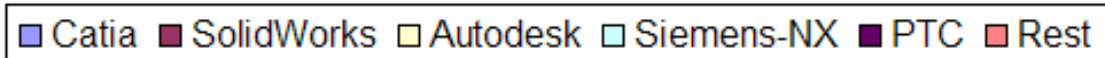
Es ist daher wichtig, dass man mit einem integrierten 2D/3D-CAD-System auch komfortabel in 2D arbeiten kann.

Beurteilungsmerkmale von CAD-Systemen

| | |
|---|---|
| Hardware: | Systemart, Rechnerart, Leistungskennzahlen, RAM, Grafikkbeschleunigung, Plattenspeicher, Bildauflösung und -wiederholffrequenz, Spezialhardware (Tablett), Ausbaufähigkeit, Anschlussmöglichkeiten, Vernetzung, Übertragungsraten, ... |
| Betriebssystem: | Möglichkeiten, Geschwindigkeiten, Netzwerksoftware, Entwicklungspotential, Aufwärtskompatibilität, Sicherheiten, ... |
| CAD-Software: (allgemein) Schnittstellen, | Leistungsniveau, Datenstruktur, Beschreibungselemente, Teile, Assoziativität, Variantentechnik, Parametrisierung, Erweiterung und Anpassung, Online-Hilfe, Menüs, Sinnfälligkeit, Darstellung, Makros, Freihandsymbole, Anwendungsmodule z.B. Stücklistengenerierung, ... |
| 2D-Software: | Bemaßungsstandards, Schriftarten, Symbole, Rahmen, Geometrieelementerzeugung und Manipulierung, Schraffur |
| Gesamtkosten: | Anschaffung, laufende Kosten, variable Kosten, Personalkosten |



Die „Top-5“ haben ~ 80% Marktanteil



3D-CAD Technologie



Durchgängig dreidimensionales Modellieren

Nutzung der Objektorientierung in der Informatik

Parametrische Systeme

Feature- Basierung

Schnittstellen wie STEP in der praktischen Nutzung / Weiterentwicklung

Systemintegration durch technische Datenbanken

Unterstützung des Konstruktionsprozesses durch EDM und PDM

Modulkonzepte, offene Systeme, Internet, Multimedia

Vorteile einer durchgängigen 3D- Modellierung

Geometrisch vollständige Bauteilrepräsentation

Erweiterte, “intelligente“ CAD-Funktionen sind teilweise nur auf Basis von 3D-Repräsentationen möglich/sinnvoll

- z.B.
- Kopplung CAD/FEM,
 - Kinematikanalysen
 - Analysen auf Fertigungs- und Montagegerechtheit durch Kopplung von CAD/NC und NC-Simulationen, ...

3D-Bauteilrepräsentationen werden zusätzliche Funktionen der genannten Art überhaupt erst möglich und wirtschaftlich machen.

Vermeidung / Minimierung von Konstruktionsfehlern

Erleichterung der Kommunikation

Unterstützung der simultanen Produktentwicklung im Team (“Simultaneous/concurrent Engineering“) und neuer Formen der Arbeitsteilung in und zwischen Unternehmen

Nutzung neuer Technologien zur schnellen Versuchsteileherstellung (“Rapid Prototyping“, z.B. mittels Stereolithographie (Format STL) nur auf Basis von 3D-Bauteilrepräsentation möglich

Minimierung der zu erstellenden und zu verwaltenden Dokumente

Direkte Ableitung von Montage-, Bedienungsanleitungen, Produktkatalogen etc.

Ziele der Feature-Technologie

Das "Wissen" des CAD-Systems über die behandelten Objekte ist nicht auf den Geometrieaspekt beschränkt, sondern es werden Zusammenhänge so abgebildet, wie sie der Anwender (Konstrukteur) sieht. Es wird damit eine Konstruktionsabsicht vermittelt.

Features kann man als ganzes ansprechen, verändern, löschen usw.

Features können auch nicht- geometrische Informationen beinhalten.
Beispiel: Fertigungsinformationen, die weiter verarbeitet werden können
=>Arbeitsplangenerierung, NC-Programmierung, Herstellungskostenermittlung

Bedingung zum Integrieren von Features in CAD/CAM-Systeme:

Objektorientierte Architektur mit Parametrik

Feature- basiertes Modellieren (“ Feature Based Modelling/Design“):

Die Konstruktion erfolgt überwiegend (ausschließlich) mit vordefinierten und in Bibliotheken angelegten Features. Nach dem Aufruf eines Features erfolgt die teilweise automatische Erzeugung der Konstruktionsergebnisse (einschl. der parametrischen Bezüge)

Feature- Erkennung (“ Feature Recognition / Extraction“):

Der Weg zur Erstellung eines Entwurfes ist gleichgültig. Wichtig ist nur die (digitale) Repräsentation des Endergebnisses. Diese Repräsentation wird von speziellen Softwarepaketen nachträglich daraufhin untersucht, ob Teilbereiche mit hinterlegten Feature-Beschreibungen übereinstimmen.

Nach dem (nachträglichen) Erkennen können die zu den Features gehörenden nicht-geometrischen Informationen zugeordnet und weiterverarbeitet werden.

Die Feature-Erkennung erfordert in der Regel Methoden und Werkzeuge der Künstlichen Intelligenz (Mustererkennung, Pattern Matching)

Merkmale objektorientierter Systeme

Objekte sind die zentralen Strukturelemente in Form von Produkten, Baugruppen, Bauteilen, Flächen, Kanten, Punkten, Features, Gestaltungszonen etc.

Jedem Objekt sind Daten und Verhaltensweisen (Methoden) fest und voneinander untrennbar zugeordnet.

Objekte können hierarchisch geordnet werden (Abstraktion, Klassenbildung), wobei sich Daten und Verhaltensweisen systematisch und automatisch weitervererben, sofern sie nicht in der Definition geändert werden.

Jedes Objekt kann von außen (vom Anwender oder von Anwendungsprogrammen) nur über genau spezifizierte Schnittstellen angesprochen und verändert werden (Abkapselung).

Der Anwender muß sich nicht um den inneren Aufbau der Objekte und die damit verbundene Konsistenzhaltung kümmern.

Unterschiedliche Objekte verhalten sich -je nach ihrer inneren Struktur- unterschiedlich; die Namen der Methoden können allerdings gleich sein. (Polymorphie).

Objekte können frei miteinander kommunizieren (Austausch von Botschaften). Dadurch ergibt sich eine andere (einfacher zu programmierende, zu testende und in der Anwendung wesentlich flexiblere) Art von Programmcode und damit eine andere Art des Programmablaufes.

- 3D-CAD statt 2D Zeichnungserstellung
- Überwiegend „Parametrische“ CAD-Systeme
- CAD Daten werden auch in anderen Prozessen genutzt (CAE, CAM, Dokumentation...)
- Trends: Knowledge Based Engineering
 - ◆ CAD-Einsatz wird komplexer
 - ◆ Mehrere Konstrukteure arbeiten an dem selben Produkt
 - ◆ Große Baugruppen
 - ◆ Strukturen: Blechteile, Normteile

CAD-Datenmodelle



Aufgabe von Datenmodellen:

- **möglichst naturgetreue Nachbildung eines Ausschnitts der “realen“ Welt**
- **formale Beschreibung aller in einer Datenbank enthaltenen Daten**

In kommerziellen DV-Anwendungen werden vier Arten von Datenmodellen eingesetzt:

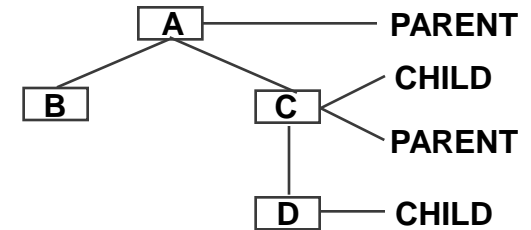
- **hierarchische Datenmodelle**
- **netzwerkartige Datenmodelle**
- **relationale Datenmodelle**
- **objektorientierte Datenmodelle**

Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

- basiert auf der Datenstruktur „Baum“
- einfach und effiziente Abbildung auf physischen Speicherstrukturen (z.B. Array, lineare Liste)
- Jeder Zugriff muss von dem Wurzelement aus starten
- genau ein Weg zu jedem Element
- nur 1:n Beziehung
- reale Welt lässt sich häufig NICHT in strengen Hierarchien abbilden (Bsp. Firma, Abteilung, Projekte, Mitarbeiter)
- Erzwingung der strengen Hierarchie führt zu Redundanzen

Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

HIERARCHISCHES MODELL




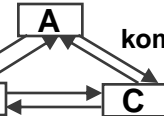

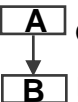
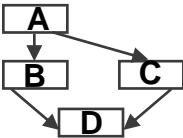
Kennzeichen

- Ebenen von Objekten
- immer ein Wurzelement
- nur eine gerichtete Assoziation zwischen Parent und Child
- Art der Assoziation: 1: 1, 1:n
- jedes logische Element besitzt einen Eingang (außer Wurzel) und 0:n Ausgänge
- n:m Assoziationen führen durch mehrfach 1:n Assoziationen zu Datenredundanz
- Zugriff nur von oberster Ebene möglich

Datenmodelle: Netzwerkartiges Datenmodell

- Basiert auf Datenstruktur „Graph“ bzw. „Netz“
- Lässt sich nicht so einfach wie hierarchisches Datenmodell auf physischen Speicherungsstrukturen abbilden
- kein ausgezeichnetes Wurzelsegment, Zugriffe von jedem Element aus möglich
- zu jedem Element führen i. a. mehrere Wege
- n:m Beziehungen möglich
- besser geeignet zur Abbildung der realen Welt
- keine Redundanzen

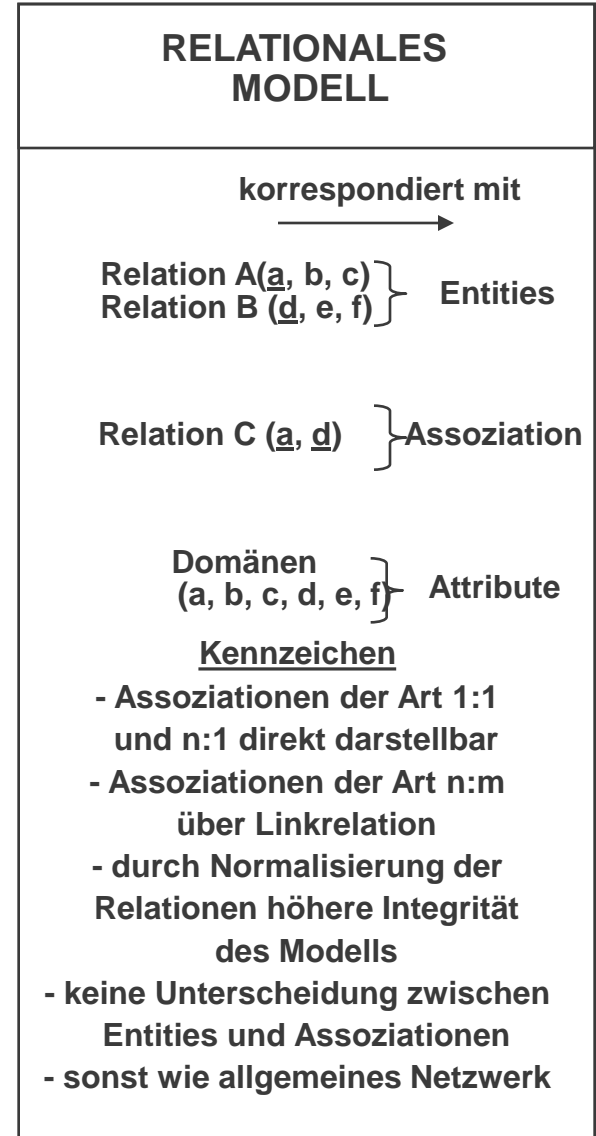
Die Netzdaten-Modelle besitzen für den Einsatz in CAD-Systemen große Bedeutung

| NETZWERKARTIGES MODELL | |
|---|--|
| allgemein | CODASYL-DBTG |
|  <p>einfache Form</p>  <p>komplexe Form</p>  <p>Zyklische Form</p> |  <p>OWNER } einfache Form (SET)</p>  <p>komplexe Form</p> |
| <p><u>Kennzeichen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - keine Ebenen - kein Wurzelsegment - jede Assoziation zwischen Objekt möglich - 1:1, 1:n, n:1, n:m - jedes logische Element besitzt 0-n Eingänge und 0-m Ausgänge - jede logische Elementausprägung besitzt 0-n Eingänge und 0-m Ausgänge - Zugriff zu jedem Element möglich | <p><u>Kennzeichen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - keine zyklische Strukturen - Assoziationen der Art 1:1, 1:n - n:m Assoziation über `link. record` - jede Ownerausprägung besitzt innerhalb eines Sets beliebig viele Ausgänge - jede Memerausprägung besitzt innerhalb eines Sets genau einen Eingang - sonst wie allgemeines Netzwerk (DBTG = DATA BASE TASK GROUP) <p>(CODASYL = Conference on Data System Languages)</p> |

Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

- basiert auf der Datenstruktur Tabelle
- Tabelle dient sowohl der Darstellung der Elemente als auch der Beziehungen zwischen den Elementen
- übersichtlich, aber relativ aufwendige Darstellung (Platzbedarf)
- n:m Beziehungen möglich
- einfache Abbildung auf phys. Speicherungsstrukturen
- aufgrund der weiten Verbreitung relationaler DBS (das sind DBS, die auf dem relationalen Datenmodell basieren) wird das relationale Datenmodell als klassisches Datenbankmodell bezeichnet

Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

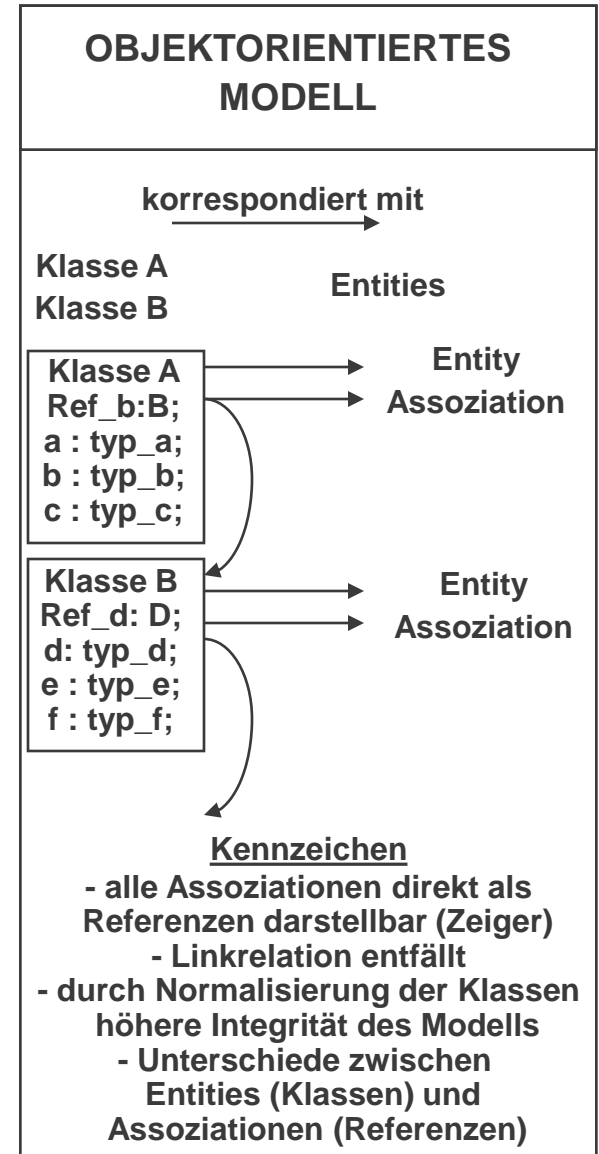


Datenmodelle: Objektorientiertes Datenmodell

- basiert auf Objekten und Beziehungen zwischen Objekten, Struktur dem netzwerkartigen Datenmodell ähnlich
- Objekte des Datenmodells entsprechen meist Objekten der realen Welt
- Objekten sind Attribute und Methoden zugeordnet, die auf Objekte wirken.
- Beziehungen zwischen Objekten sind direkt durch Referenzen (Zeiger) darstellbar, n:m Beziehung möglich
- keine Redundanzen

Objektorientierte Datenmodelle gewinnen auch in kommerziellen CAD-Systemen zunehmend an Bedeutung.

Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

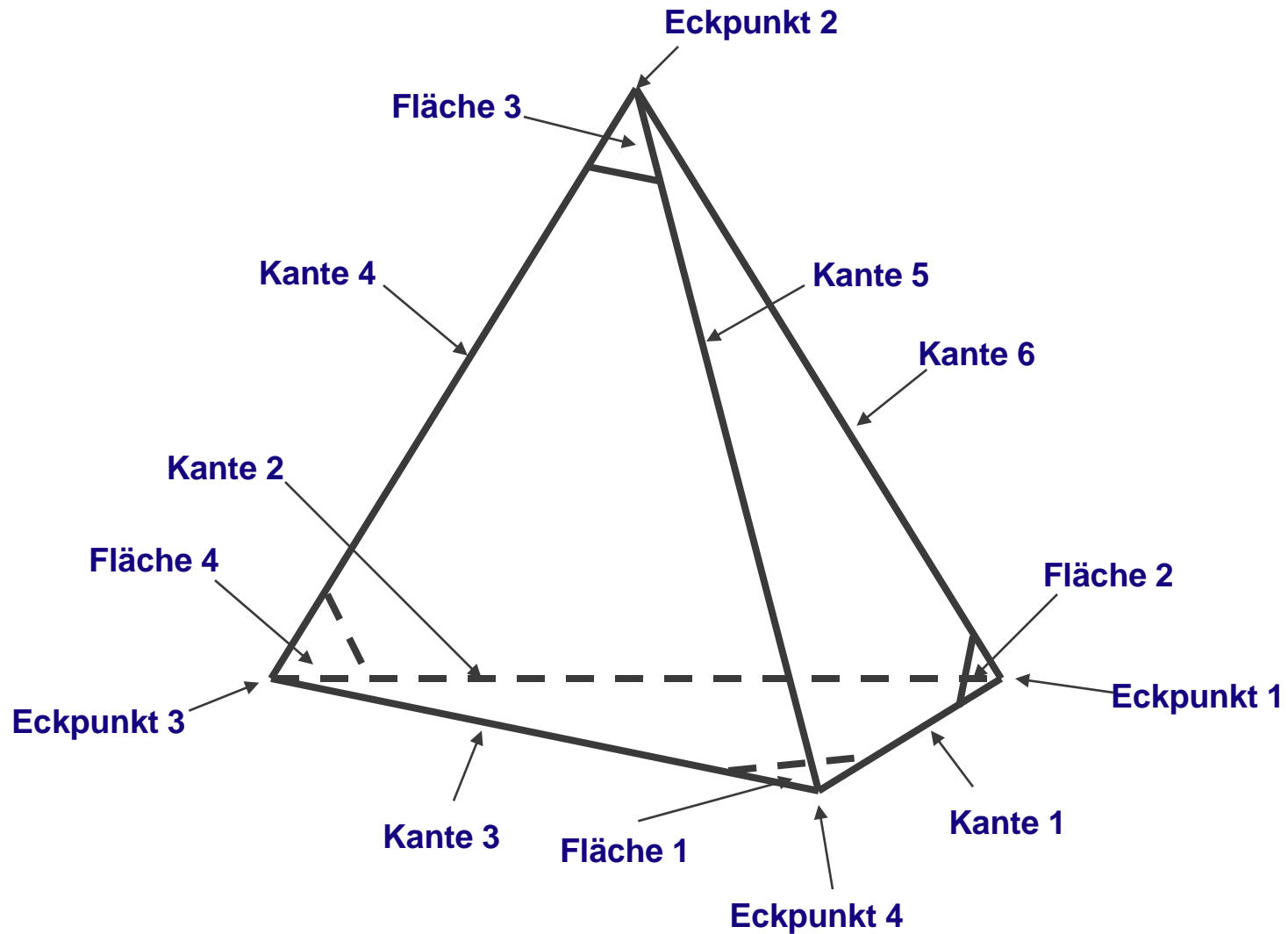


Datenmodelle: Datenstrukturschemata

| | HIERARCHISCHE DATENSTRUKTUR | NETZWERKARTIGE DATENSTRUKTUR | | RELATIONALE DATENSTRUKTUR | OBJEKTORIENTIERTE DATENSTRUKTUR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|---|---|-----|-------|-----|--|----|--|----|--|----|--|----|-------------|--|---------|--|--|----|----|--|--|----|----|--|--|----|----|--|--|----|----|--|--|
| | | allgemein | CODASYL-DBTG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SCHEMA | | | | <p>Linie (LNR,...) Punkt (PNR,...) Linie-Punkt (LNR, PNR)</p> | <p>Klasse Linie: [start_punkt: Punkt; end_punkt: Punkt; verschiebe_linie();]</p> <p>Klasse Punkt: [x: real; y: real; z: real; zu_linie: list[:n] of Linie erzeuge_punkt();]</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SCHEMAUSPRÄGUNG | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Linie</th> <th>LNR</th> <th>Punkt</th> <th>PNR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>L1</td> <td></td> <td>P1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>L2</td> <td></td> <td>P2</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Linie-Punkt</th> <th colspan="2">LNR,PNR</th> </tr> <tr> <td></td> <td>L1</td> <td>P1</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>L1</td> <td>P2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>L2</td> <td>P2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>L2</td> <td>P3</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Linie | LNR | Punkt | PNR | | L1 | | P1 | | L2 | | P2 | Linie-Punkt | | LNR,PNR | | | L1 | P1 | | | L1 | P2 | | | L2 | P2 | | | L2 | P3 | | |
| Linie | LNR | Punkt | PNR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | L1 | | P1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | L2 | | P2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Linie-Punkt | | LNR,PNR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | L1 | P1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | L1 | P2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | L2 | P2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | L2 | P3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

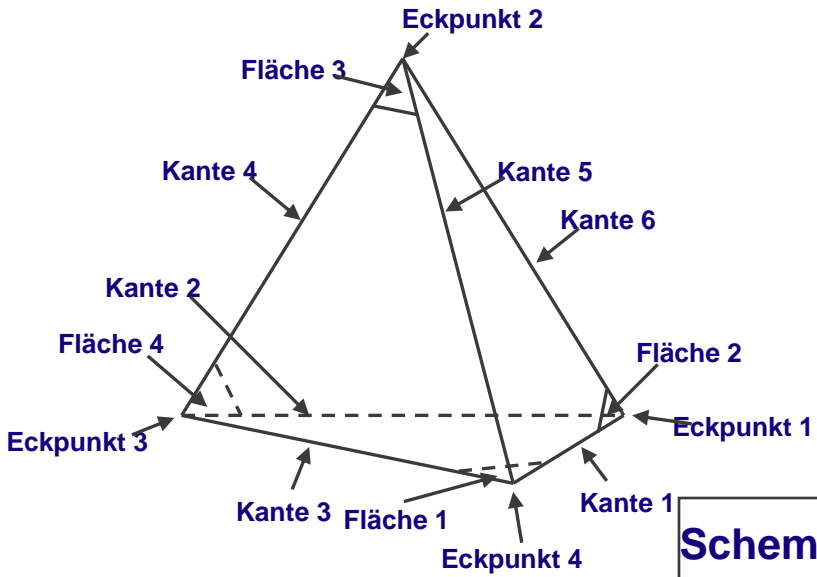
Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

Datenmodelle: Beispiel Tetraeder

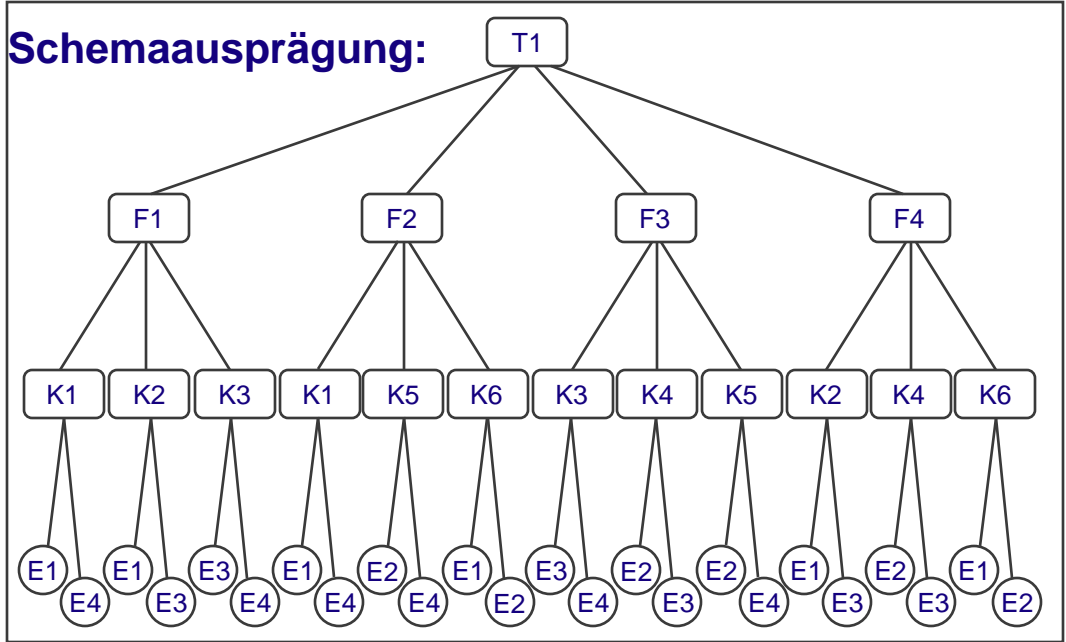
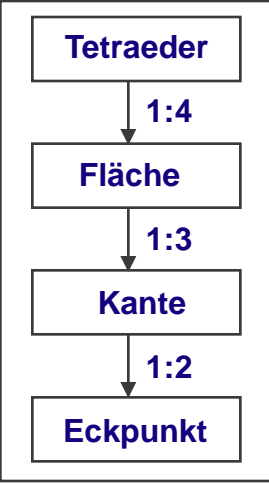


Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

Datenmodelle: Beispiel Tetraeder, Hierarchisches Datenmodell

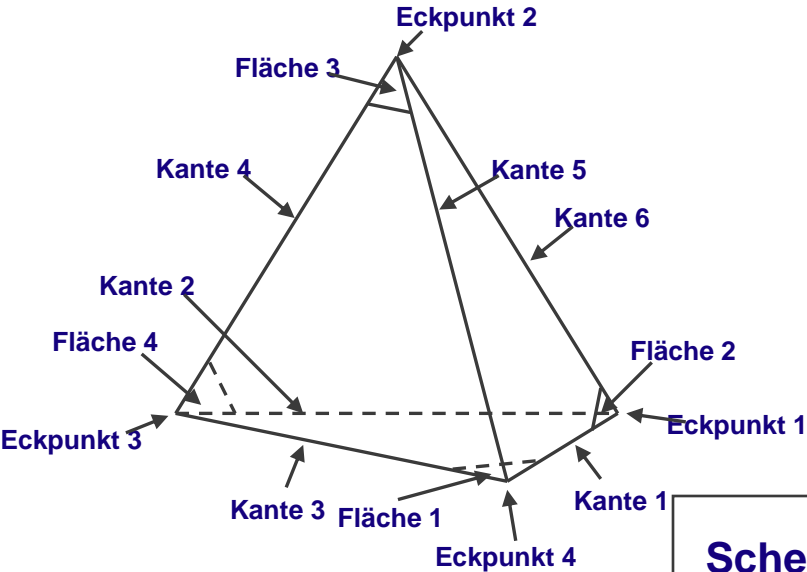


Schema:

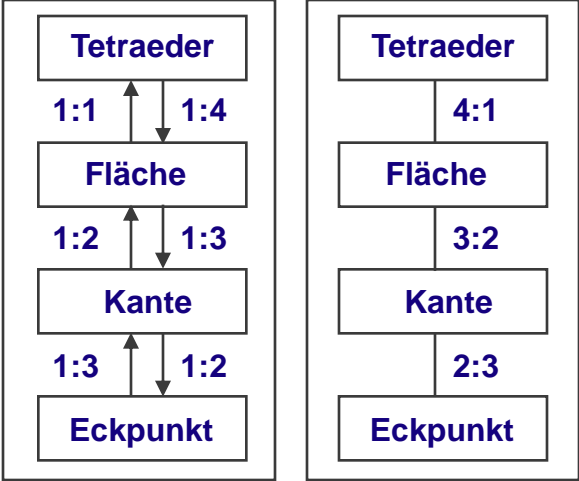


Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

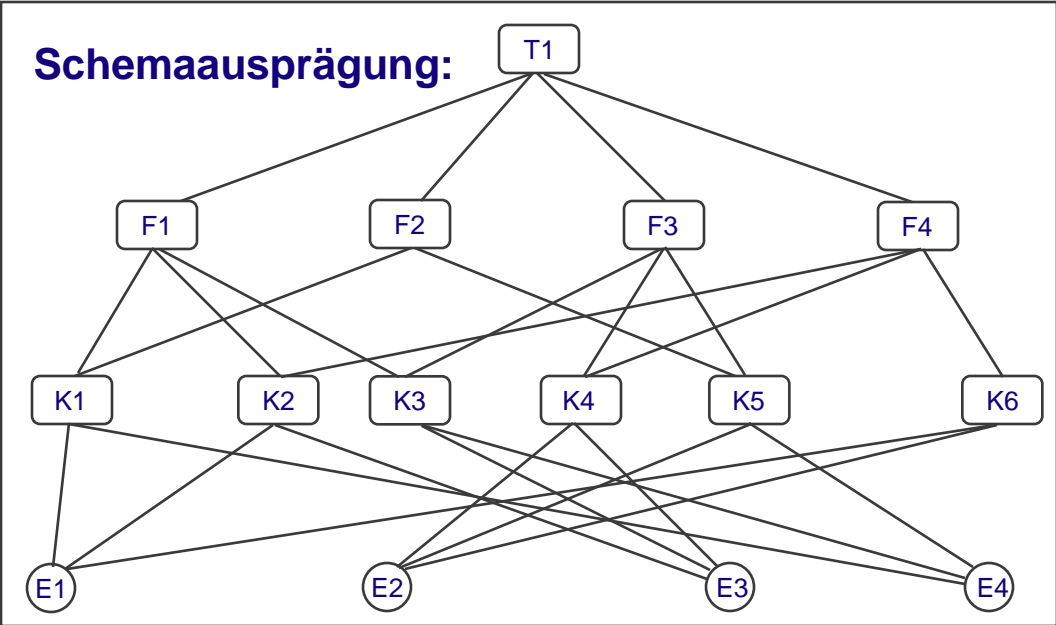
Datenmodelle: Beispiel Tetraeder, Netzwerkartiges Datenmodell



Schema:

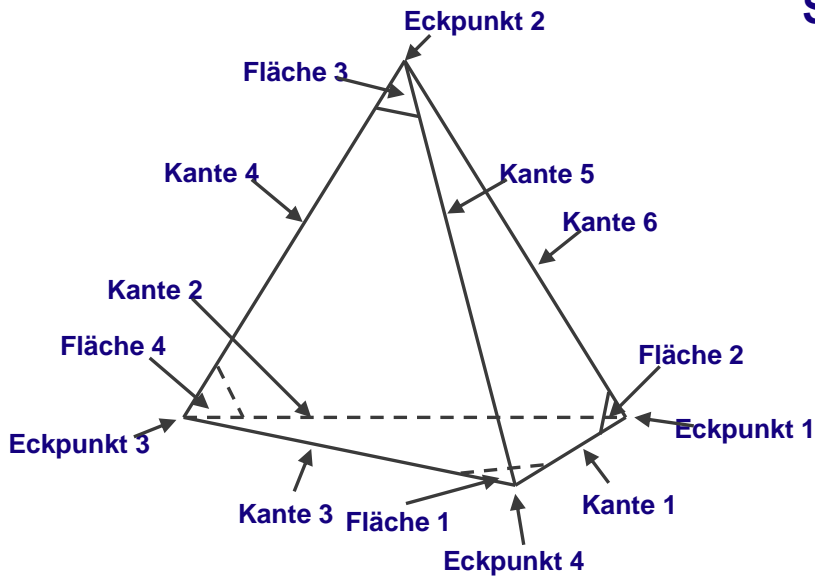


Schemaausprägung:



Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

Datenmodelle: Beispiel Tetraeder, Relationales Datenmodell



Schema:

- Tetraeder(T-Nr, ...)
- Fläche(F-Nr, ...)
- Kante(K-Nr, ...)
- Eckpunkt(E-Nr,X,Y,Z)
- Tetraeder-Fläche(T-Nr,F-Nr)
- Fläche-Kante(F-Nr,K-Nr)
- Kante-Eckpunkt(K-Nr,E-Nr)

Schemaausprägung:

| Tetraeder-Fläche | | T-Nr | F-Nr |
|------------------|--|------|------|
| | | T1 | F1 |
| | | T1 | F2 |
| | | T1 | F3 |
| | | T1 | F4 |

| Tetraeder | T-Nr |
|-----------|------|
| | T1 |

| Fläche | F-Nr |
|--------|------|
| | F1 |
| | F2 |
| | F3 |
| | F4 |

| Kante | K-Nr |
|-------|------|
| | K1 |
| | K2 |
| | K3 |
| | K4 |
| | K5 |
| | K6 |

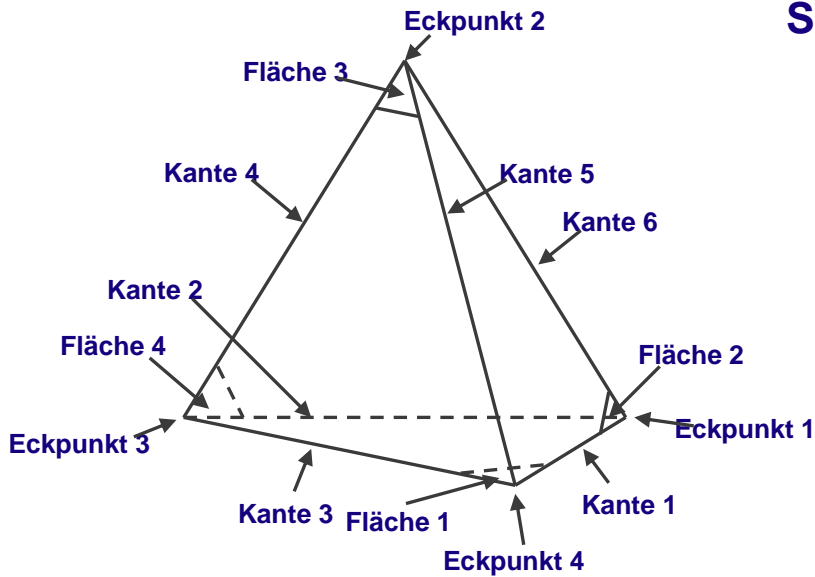
| Kante-Eckpunkt | | K-Nr | E-Nr |
|----------------|--|------|------|
| | | K1 | E1 |
| | | K1 | E4 |
| | | K2 | E1 |
| | | K2 | E3 |
| | | K3 | E3 |
| | | K3 | E4 |
| | | K4 | E2 |
| | | K4 | E3 |
| | | K5 | E2 |
| | | K5 | E4 |
| | | K6 | E1 |
| | | K6 | E2 |

| Fläche-Kante | | F-Nr | K-Nr |
|--------------|--|------|------|
| | | F1 | K1 |
| | | F1 | K2 |
| | | F1 | K3 |
| | | F2 | K1 |
| | | F2 | K5 |
| | | F2 | K6 |
| | | F3 | K3 |
| | | F3 | K4 |
| | | F3 | K5 |
| | | F4 | K2 |
| | | F4 | K4 |
| | | F4 | K6 |

| Eckpunkt | E-Nr | X | Y | Z |
|----------|------|----|----|----|
| | E1 | X1 | Y1 | Z1 |
| | E2 | X2 | Y2 | Z2 |
| | E3 | X3 | Y3 | Z3 |
| | E4 | X4 | Y4 | Z4 |

Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

Datenmodelle: Beispiel Tetraeder, Objektorientiertes Datenmodell



Schema:

```

Klasse Tetraeder {
  Fläche1: Fläche;
  Fläche2: Fläche;
  Fläche3: Fläche;
  Fläche4: Fläche;
}
    
```

```

Klasse Fläche {
  Kante1: Kante;
  Kante2: Kante;
  Kante3: Kante;
}
    
```

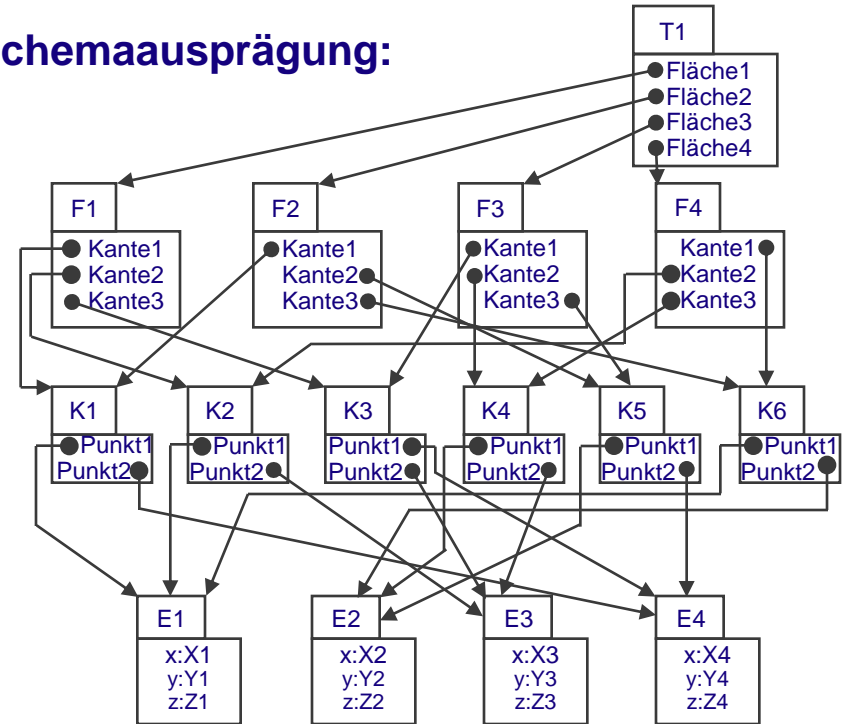
```

Klasse Kante {
  Punkt1: Eckpunkt;
  Punkt2: Eckpunkt;
}
    
```

```

Klasse Eckpunkt {
  x: REAL;
  y: REAL;
  z: REAL;
}
    
```

Schemaausprägung:



Quelle: RPK, Uni Karlsruhe

Vorteile relationaler und objektorientierter Datenmodelle beim Einsatz für CAD-Anwendungen:

- Konsistenz

werden die Koordinaten von z.B. E1 geändert, so müssen beim hierarchischen Datenmodell 6 Werte geändert werden. Beim relationalen, netzwerkartigen und objektorientierten Datenmodell ist nur ein Wert zu ändern.

- Speicherplatz

Beim hierarchischen Datenmodell werden einzelne Elemente mehrfach gespeichert (z.B. Kanten). Beim relationalen Datenmodell entstehen viele und z.T. sehr große Tabellen. Beim netzwerkartigen und objektorientierten Datenmodell wird jedes Element nur einmal gespeichert.

2D- und 3D-Datenstrukturen

| | 2D | | 3D | | | |
|-----------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------|
| | Linien-Modell | Linien-Modell | Linien- (Draht-)Modell | Flächen-Modell | Volumen-Modell | |
| | | | | | flächenorientiert | körperorientiert |
| Informationsmodell | | | | | | |
| Rechnerinternes Modell (RM) | | | | | | |
| Informationsmittel | Punkt Linie | Punkt Linie | Punkt Linie | Punkt Linie Fläche | Punkt, Linie Fläche, Volumen | |
| Allgemeine Bezeichnung | 2D-Zeichnungssystem | Aus 3D-Modell abgeleitetes 2D-System | Drahtmodell | Flächenmodell | BRep (Boundary Representation) | |
| | <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> ← Auf- und abwärtskompatibles CAD-System → </div> | | | | | |

Repräsentation von Geometriemodellen

Geometriemodelle können in zwei- und dreidimensionale Modelle eingeteilt werden. Zweidimensionale Modelle können als Draht- oder Flächenmodelle, dreidimensionale darüber hinaus auch als Volumenmodelle repräsentiert werden. Drahtmodelle (Wireframes) bestehen aus einzelnen Linien, die erst in der Vorstellung des Betrachters mit Flächen bzw. einem Volumen assoziiert werden. Das Drahtmodell enthält keinerlei Flächeninformationen und somit auch keine Informationen über das umschriebene Volumen. Es ist also auch nicht möglich, Flächen- und Masseninformationen aus dem Drahtmodell zu gewinnen. Die fehlende Volumeninformation bedingt, daß eine automatische Kollisionsprüfung durch das CAD-System nicht möglich ist. Bei der Kollisionsprüfung überprüft das CAD-System, ob sich verschiedene Geometrien berühren oder durchdringen.

Flächenmodelle enthalten alle Flächeninformationen. Aus ihnen kann z.B. die Oberfläche eines Bauteils berechnet werden. Da aber keinerlei Information über die Massenverteilung im Modell enthalten sind, kann das CAD-System im drei-dimensionalen Bereich das umschlossene Volumen nicht von der Umgebung unterscheiden und damit die Masse des Bauteils nicht berechnen. Flächenmodelle können Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit (z.B. Farbe) enthalten.

Volumenmodelle enthalten die vollständigen Informationen zur Beschreibung des Bauteils. Deshalb können, von diesem Datensatz ausgehend, neben Berechnungen der Körperoberfläche auch Aussagen zur Masse des Bauteils getroffen werden, da zum Datensatz auch Informationen über die Dichte gehören. Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit und die Oberflächenfarbe können ebenfalls im Volumenmodell gespeichert werden.

Zur Beschreibung von Kurven im zweidimensionalen Bereich stehen zwei grundsätzliche Methoden zur Verfügung:

Analytisch beschreibbare Kurven:

Analytisch beschreibbare Kurven lassen sich mit Hilfe von impliziten ($F(x,y)=0$) oder expliziten ($y=f(x)$) Gleichungen mathematisch exakt beschreiben. Sie bilden die Grundlage für die Kurvenmenüs von CAD-Systemen. Beispiele: Funktionen zur Beschreibung von Parabeln, Hyperbeln und Ellipsenbögen.

Analytisch nicht beschreibbare Kurven:

Analytisch nicht beschreibbare Kurven lassen sich nur annähernd, also nicht analytisch genau beschreiben. Sie werden deshalb parametrisch beschrieben.

Analytisch nicht beschreibbare Funktionen werden benötigt zur:

- Konstruktion nach ästhetischen Gesichtspunkten: Styling, Form Follows Function
- Repräsentation und Änderung vorhandener Stylingmodelle
- Konstruktion unter funktionalen Randbedingungen (z.B. Verringerung des Strömungswiderstandes).

An die Repräsentation werden dabei folgende Anforderungen gestellt:

- Einfache Beschreibung mit wenigen Parametern
- Möglichkeit der globalen (bei Änderung eines Punktes ändert sich der gesamte Kurvenverlauf) und lokalen (bei Änderung eines Punktes ändert sich der Kurvenverlauf nur in einem Teilbereich) Änderung durch Parameteränderung.

Interpolation:

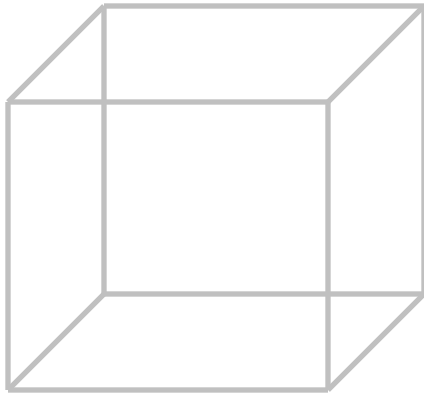
Man spricht von Interpolation, wenn eine Funktion $\Phi(x)$ an eine gegebene Funktion $f(x)$ oder eine Menge gegebener Punkte so angeglichen wird, dass an bestimmten Punkten x_i gilt: $\Phi(x_i)=f(x_i)$. Die Funktion $\Phi(x)$ geht durch die vorgegebenen Punkte. Mathematische Verfahren zur Interpolation basieren auf Interpolationspolynomen, die nach Lagrange, Newton oder Hermite definiert sind.

Approximation:

Unter Approximation versteht man die Ermittlung einer Ersatzfunktion φ , die sich einer vorgegebenen Basisfunktion oder einer Menge vorgegebener Punkte optimal nähert. Optimal bedeutet dabei, dass die Abweichung der Ersatzfunktion von der Basisfunktion oder die Summe der Abweichungen von den gegebenen Punkten möglichst klein sein soll. Bei den mathematischen Verfahren zur Approximation spricht man auch von Ausgleichsverfahren.

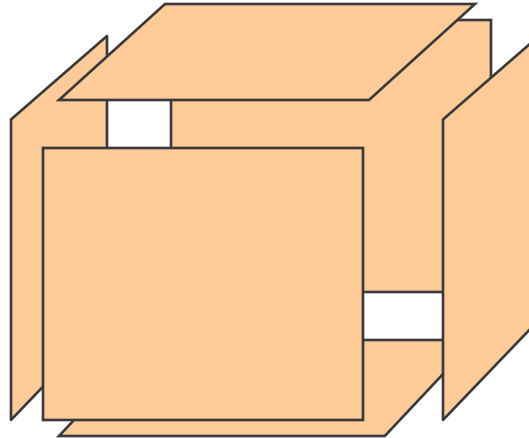
Vergleich der 3D-Modelltechniken

3D-Drahtmodell



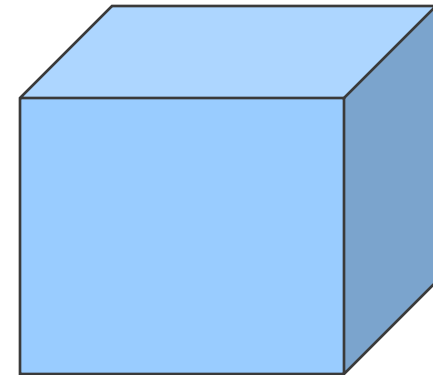
- Mehrdeutigkeit
- keine geometrische Integrität
- keine physikalischen Eigenschaften
- keine Kollisionsprüfung

3D-Flächenmodell



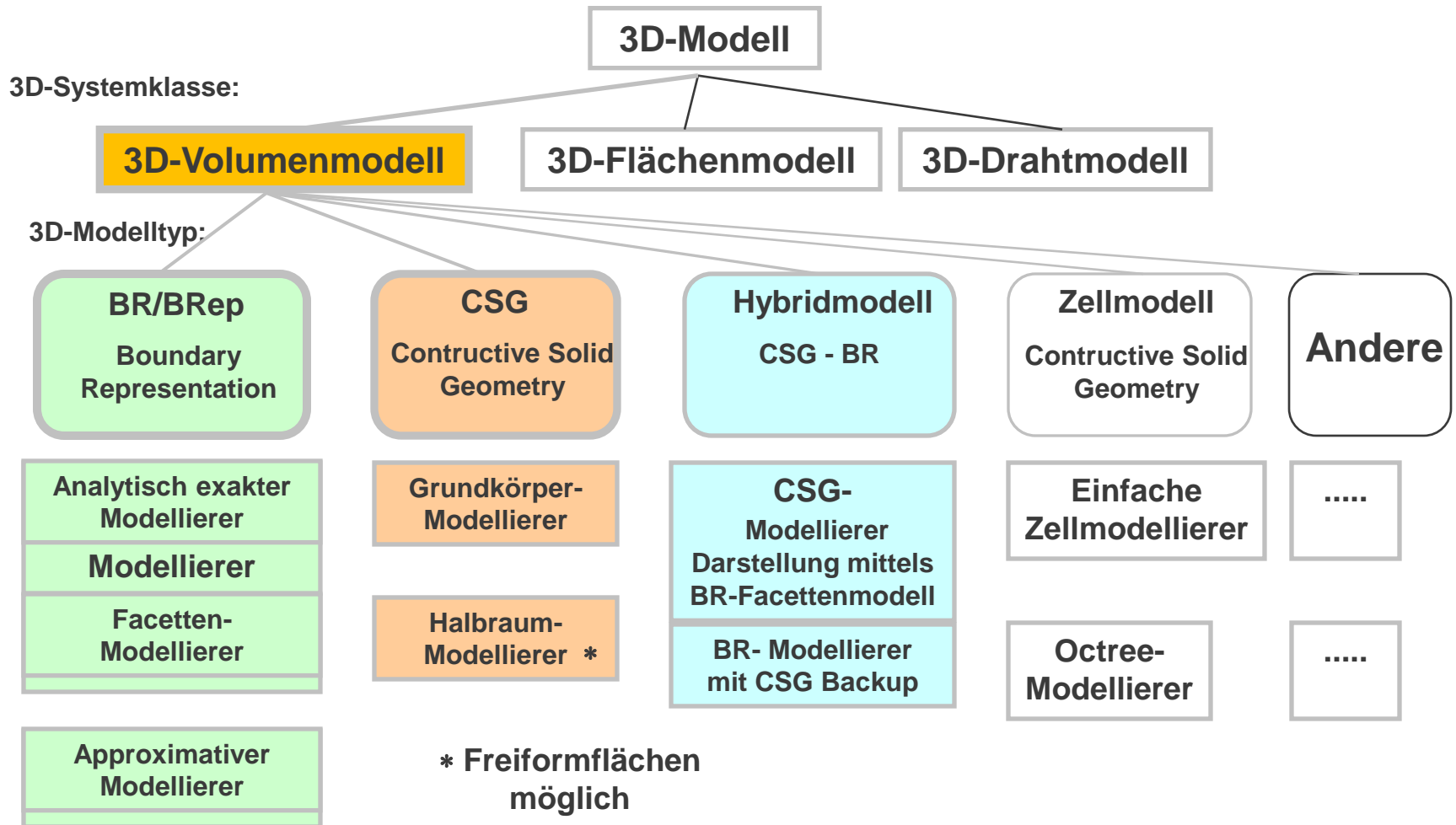
- keine Richtung für Material
- keine Flächenintegrität
- praktisch keine physikalischen Eigenschaften
- Kollisionsprüfung nur über Flächendurchdringung

3D-Volumenmodell



- Richtung für Material
- physikalische Eigenschaften exakt berechenbar
- Kollisionsprüfung möglich

Modelltechniken



Quelle: Grätz: Handbuch der CAD-Technik

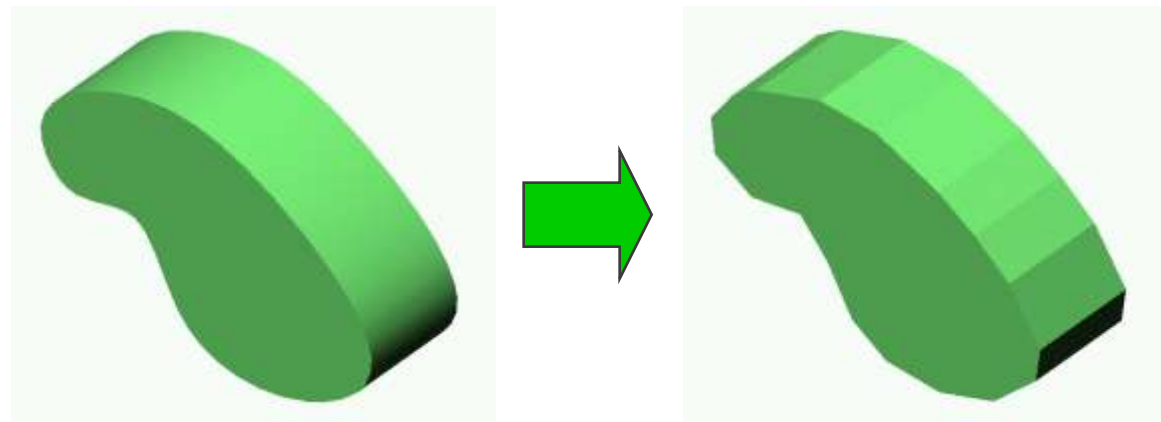
BR/BRep
Boundary
Representation

Analytisch exakter
Modellierer

Facetten-
Modellierer

Approximativer
Modellierer

Die topologischen / geometrischen Strukturmodelle können anhand der Art der verwendeten geometrischen Begrenzungsflächen unterschieden werden. Neben Flächenberandungsmodellen, die auf exakt beschriebenen Begrenzungsflächen basieren und somit das Arbeiten mit Freiformflächen ermöglichen, existieren auch Facettenmodelle. Bei Facettenmodellen wird die Begrenzungsfläche durch sogenannte Tangentialflächen (Facetten) angenähert.



Quelle: Grätz: Handbuch der CAD-Technik

BR/BRep
Boundary
Representation

Analytisch exakter
Modellierer

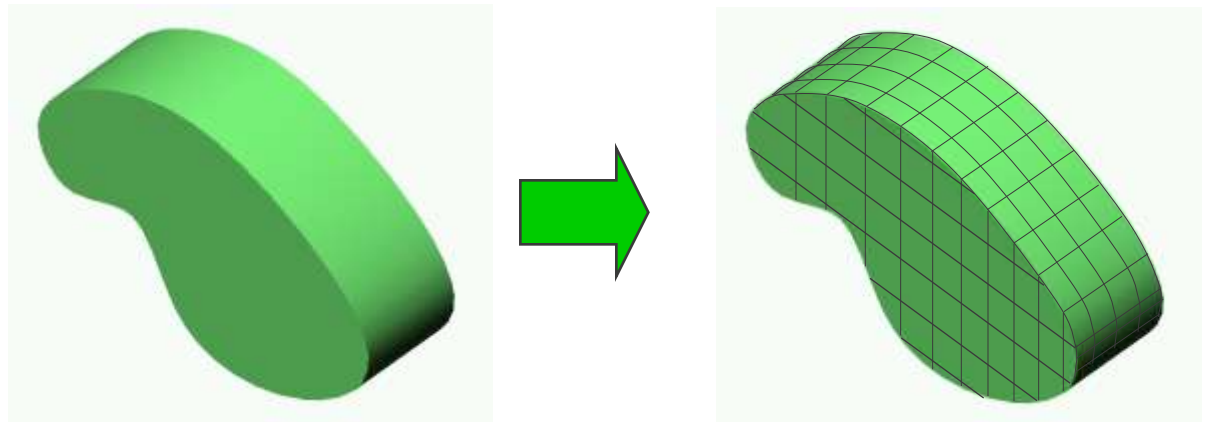
Facetten-
Modellierer

Approximativer
Modellierer

Bei approximativen Modellierern werden Flächen und Kurven durch Parameterflächen und Parameterkurven beschrieben. Jede Fläche ist ansprechbar und manipulierbar.

Eine analytisch exakte Definition einer Fläche z.B. als ebene Fläche ist aber nicht möglich. Es kann lediglich ein Attribut "ebene Fläche" manuell eingefügt werden.

Dieser Modelltyp ist rechen- und datenintensiv unabhängig von der Ordnung der Flächen.



Quelle: Grätz: Handbuch der CAD-Technik

Zellmodell
Constructive Solid
Geometry

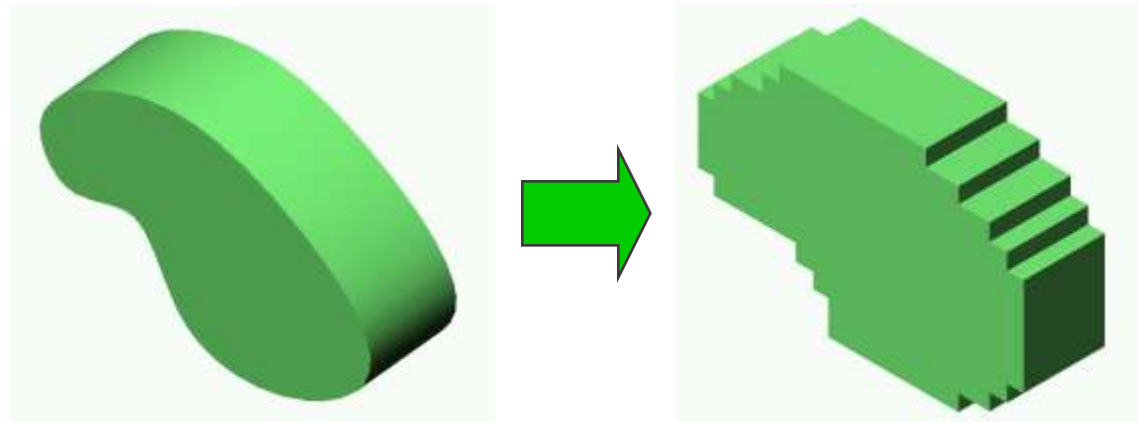
Einfache
Zellmodellierer



Octree-
Modellierer

Bei Zellmodellierern wird das Volumen eines Modells in eine Ansammlung von benachbarten, kleinen Einzelementen, den Voxeln (Volume Element), zerlegt.

Das Modell ist sehr datenintensiv. Boolesche Verknüpfungen oder Volumenberechnungen können aber sehr schnell ausgeführt werden.



Quelle: Grätz: Handbuch der CAD-Technik



- Volumen wird durch die umhüllenden Begrenzungsflächen und durch die Lage des Materials relativ zu den Begrenzungsflächen beschrieben
- Flächenmodell, erweitert um Materialvektoren
- Abgeschlossenheit und Konsistenz wird durch Algorithmen gewährleistet
- Das dargestellte Modell stellt jederzeit ein explizites, vollständiges Abbild der Geometrie dar
- Volumenkonsistenz muss nach jeder Operation neu überprüft werden
- Hoher Speicherplatzbedarf
- Keine Information über die Beschreibungshistorie
- Offene Körper sind nicht beschreibbar

- Alle geometrischen Elemente im Modell können direkt angesprochen werden
 Bsp.: Kantenauswahl für Fase oder Rundung
- Attribute wie Material- und Oberflächeneigenschaften an beliebigen geometrischen Elementen
- Beliebige geformte Volumenelemente
- Keine Beschränkung auf Grundelemente (siehe CSG-Modell)
- Modifikation des Modells als topologische Operation der BRep-Struktur und nur lokaler Neuberechnung
- Keine ständige Neuberechnung des gesamten Modells wie bei CSG nötig, aber möglich

Schnelle und leichte Visualisierung der Geometrie

| | |
|------------------------|------------------------------|
| FEM: | Vernetzungsplan |
| PPS: | Zeichnungsnummer, Stückliste |
| Variantenkonstruktion: | Constraints |
| CAP: | Formelemente |
| CAM: | Form- und Lagetoleranzen |

BRep-Baumstruktur (Topologie, vereinfacht)

Body

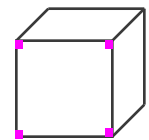
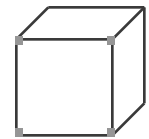
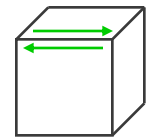
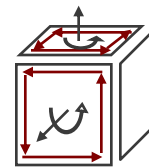
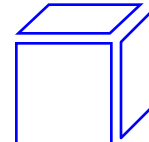
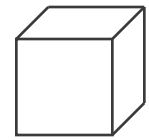
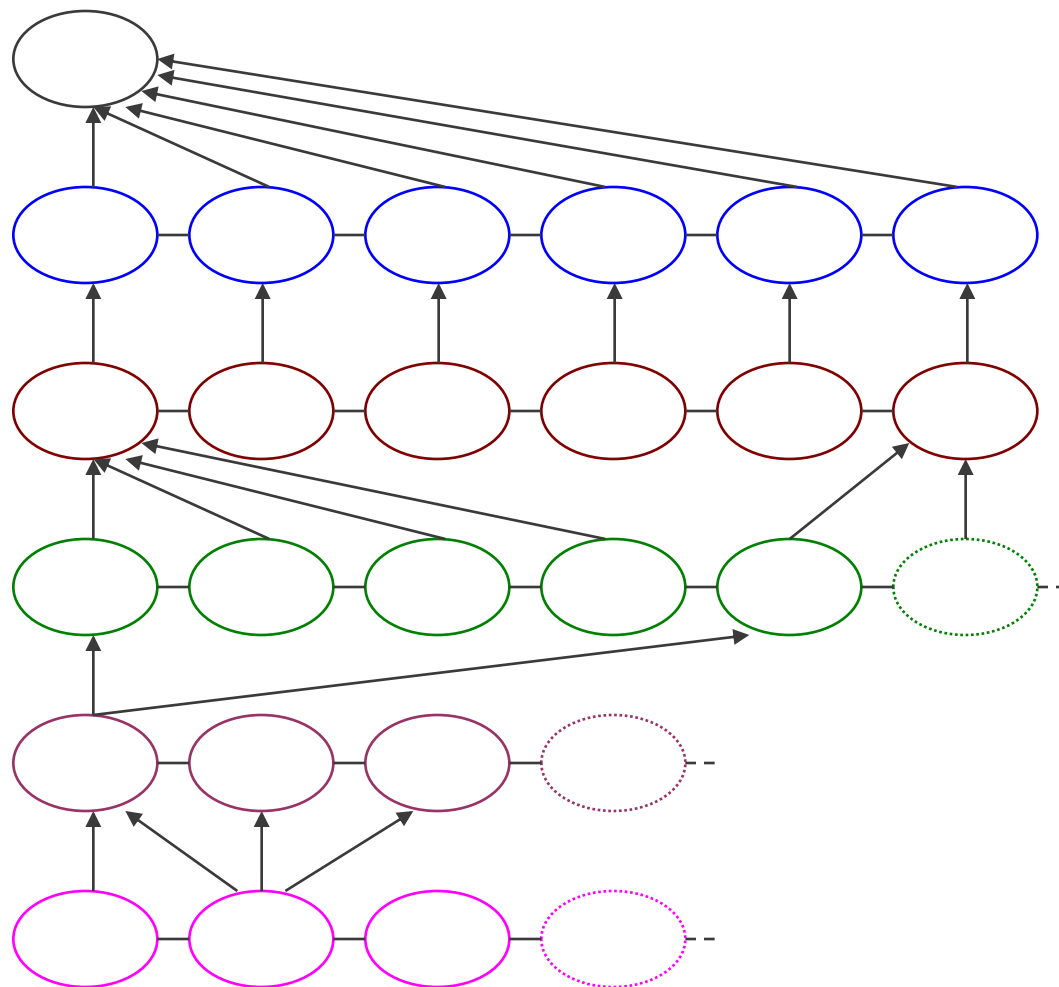
Face

Loop

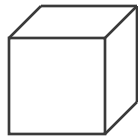
Coedge

Edge

Vertex

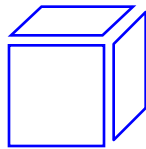


Body:



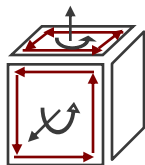
Element zur Kennzeichnung eines real möglichen, allseitig durch Flächen eindeutig begrenzten Volumenbereiches.

Face:



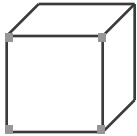
Element zur Kennzeichnung eines eindeutig berandeten, gültigen Bereiches auf einer Flächengeometrie, der dazu beiträgt, einen Körper zu begrenzen. Jedem Flächenelement ist ein Vorzeichenwert +1 bzw. -1 zugeordnet, der angibt, auf welcher Seite der Flächengeometrie sich Material befindet. Das Vorzeichen ist positiv, wenn der immer vom Material wegweisende Materialvektor die gleiche Richtung hat wie der Richtungsvektor der Flächengeometrie.

Loop:



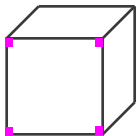
Element zur Kennzeichnung eines geschlossenen Kurvenzuges zur Begrenzung einer Fläche. Jede Fläche besitzt mindestens einen solchen Kantenzug als Außenkante und gegebenenfalls mehrere als Innenkonturen von "Flächenlöchern". Jeder Kantenzug hat einen definierten Durchlaufsinne. Dieser wird im Element Loop durch die Reihenfolge der aufgeführten Eckpunkte beschrieben.

Edge:



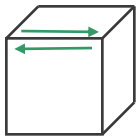
Element zur Kennzeichnung einer Kante des beschriebenen Körpers als eines gültigen Abschnittes der zugrundeliegenden Liniengeometrie zwischen zwei Eckpunkten. Jede Körperkante ist an der Berandung der beiden in ihr zusammenstoßenden Flächen beteiligt und zerfällt damit in zwei zusammengehörende Flächenkanten (Coedges) als Bestandteil der jeweiligen berandeten Kantenzüge der beiden an der betrachteten Körperkante benachbarten Flächen.

Vertex:



Element zur Kennzeichnung des Endpunktes einer Flächenkante und damit gleichzeitig auch des Anfangspunktes der folgenden Flächenkante innerhalb des begrenzenden Kantenzuges einer Fläche. Da jede Flächenkante mit der entsprechenden Flächenkante einer Nachbarfläche zusammenfällt und mit dieser die gleichen Eckpunkte aufweist, tritt jeder Eckpunkt mindestens zweifach innerhalb der entsprechenden Kantenzüge benachbarter Flächen auf.

Coedge:



Element zur Kennzeichnung eines Abschnittes innerhalb eines flächenbegrenzenden Kantenzuges zwischen zwei Eckpunkten und entlang einer Körperkante. Jeder Flächenkante wird durch einen Vorzeichenwert +1 bzw. -1 ein Durchlaufsinne bezüglich der positiven Richtung der Liniengeometrie zugeordnet, die der jeweiligen Körperkante zugrunde liegt. Dieser Durchlaufsinne wird so gewählt, daß der gültige Flächenbereich immer links von der Durchlaufrichtung erscheint, wenn die betreffende Fläche vom leeren Raum aus betrachtet wird. Die zu einer Körperkante immer paarweise auftretenden Flächenkanten in benachbarten Flächen weisen gemäß dieser Definition prinzipiell unterschiedlichen Durchlaufsinne auf.

Fläche erster Ordnung

Ebene

Fläche zweiter Ordnung

Kegel, Kugel, Torus

Fläche n-ter Ordnung

Freiformflächen

Punkte

Koordinaten im Raum

Kurven

Schnitte von Flächen
verschiedener Ordnung

Gerade

Schnitt von zwei Ebenen

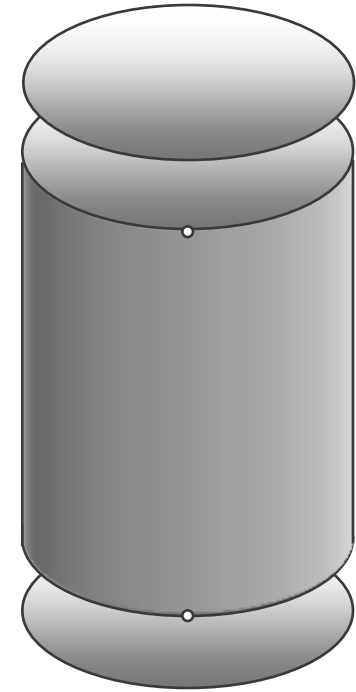
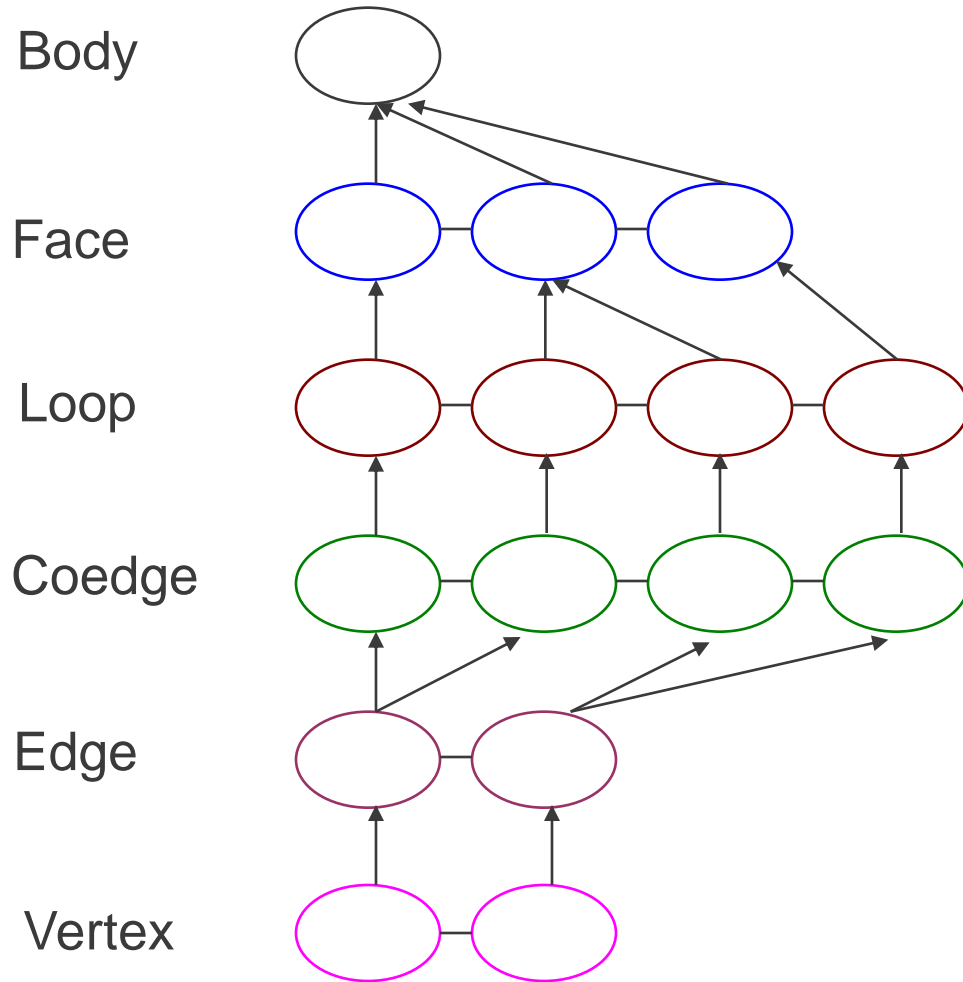
Kreis, Ellipse, Parabel, Hyperbel

Schnitt einer Ebene mit
einem Kegel unter
verschiedenen Winkeln

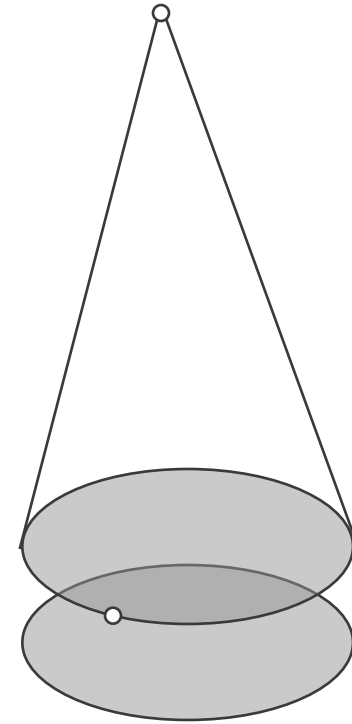
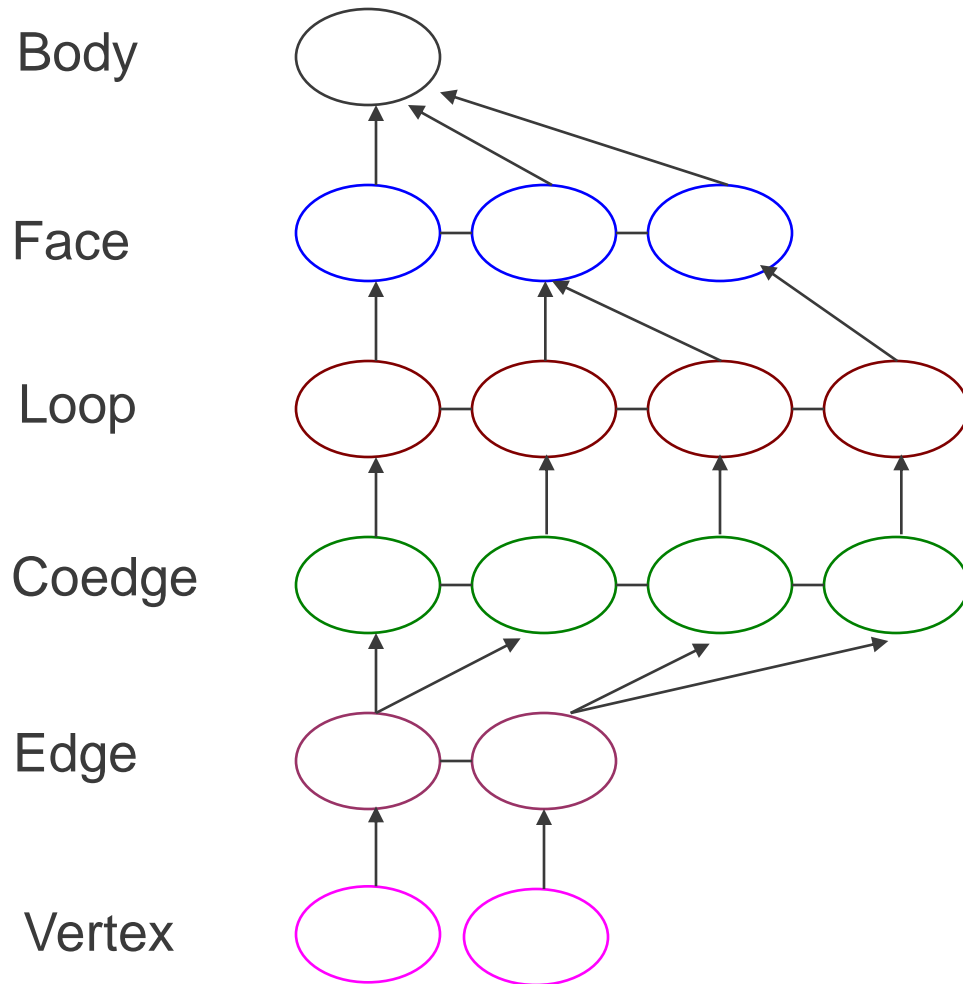
Parameterkurve

Schnitt einer Fläche n-ter
Ordnung

Zylinder in BRep-Datenstruktur (vereinfacht)

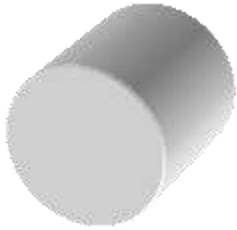


Kegel in BRep-Baumstruktur (vereinfacht)

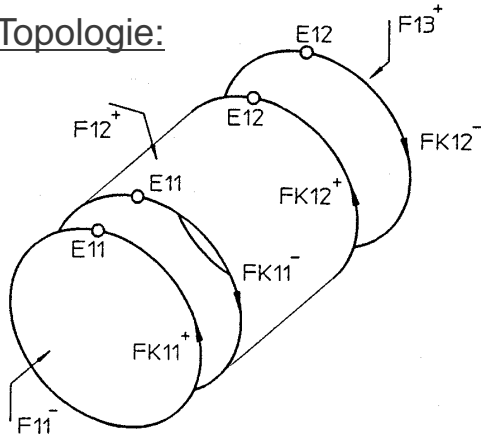


Zylinder in BRep-Baumstruktur

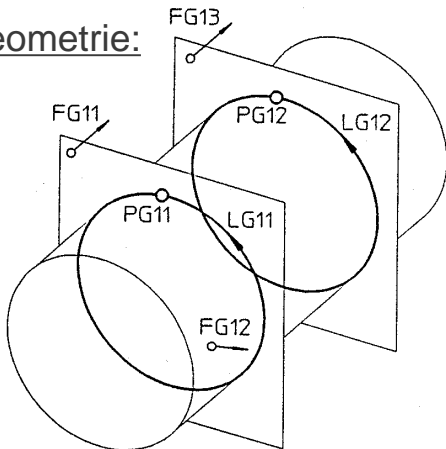
Körper:



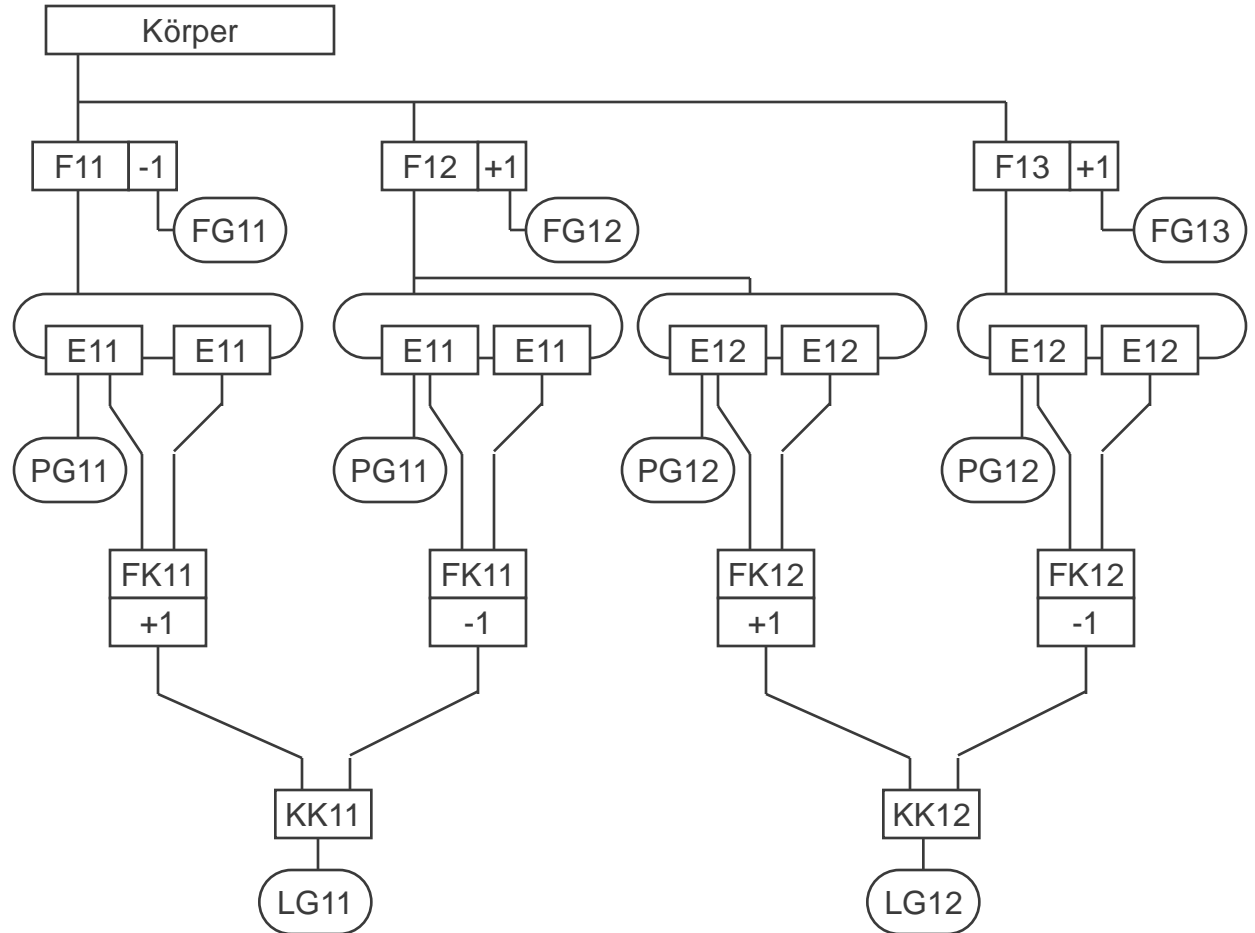
Topologie:



Geometrie:



Datenstruktur:

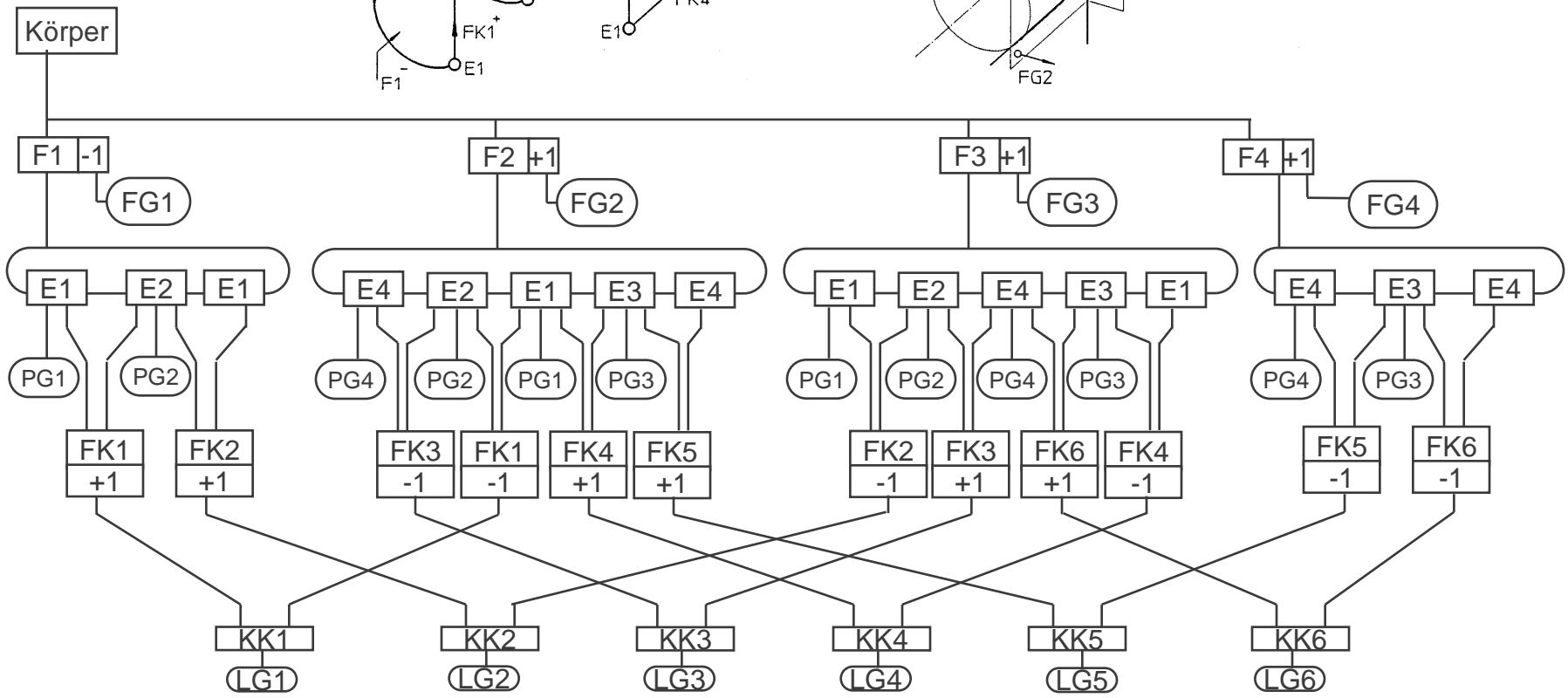
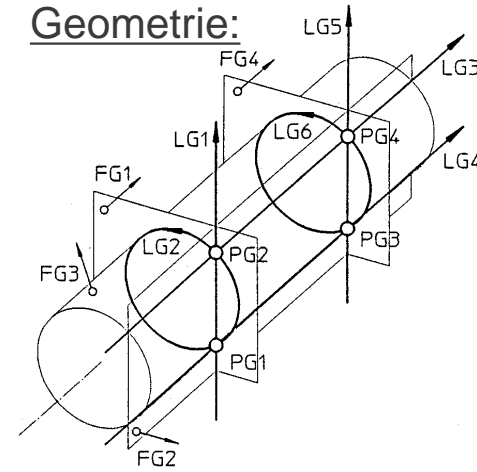
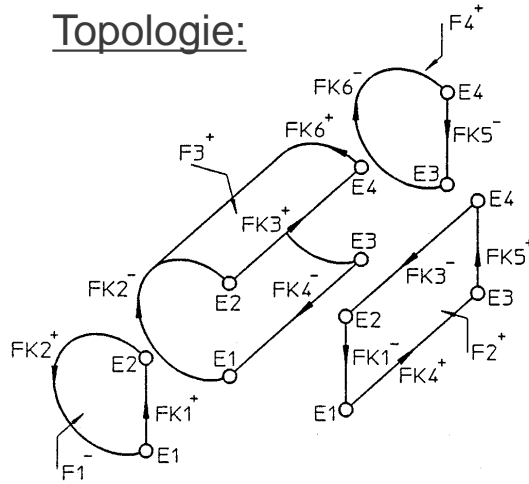


Beispielkörper in BRep-Baumstruktur

Datenstruktur:







Topologie:

Geometrie:









Vergleich der BRep-Datenstrukturen: hierarchisch / objektorientiert

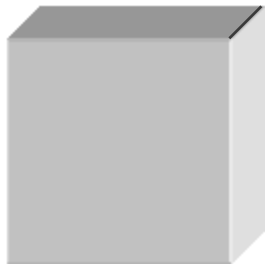
hierarchisch

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  | <p>Fläche erzeugen</p> <p>Flächentyp ?</p> <table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | <table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | <p>Fläche löschen</p> <p>Flächentyp ?</p> <table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | <table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | <p>Flächen verbinden</p> <p>Flächentyp ?</p> <table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | <table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

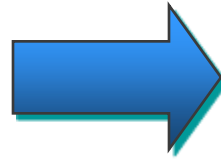
objektorientiert

| | |
|---|---|
|  | <p>Fläche erzeugen</p> <p>Fläche löschen</p> <p>Flächen verbinden</p> |
|  | <p>Fläche erzeugen</p> <p>Fläche löschen</p> <p>Flächen verbinden</p> |
|  | <p>Fläche erzeugen</p> <p>Fläche löschen</p> <p>Flächen verbinden</p> |
|  | <p>Fläche erzeugen</p> <p>Fläche löschen</p> <p>Flächen verbinden</p> |
|  | <p>Fläche erzeugen</p> <p>Fläche löschen</p> <p>Flächen verbinden</p> |
|  | <p>Fläche erzeugen</p> <p>Fläche löschen</p> <p>Flächen verbinden</p> |

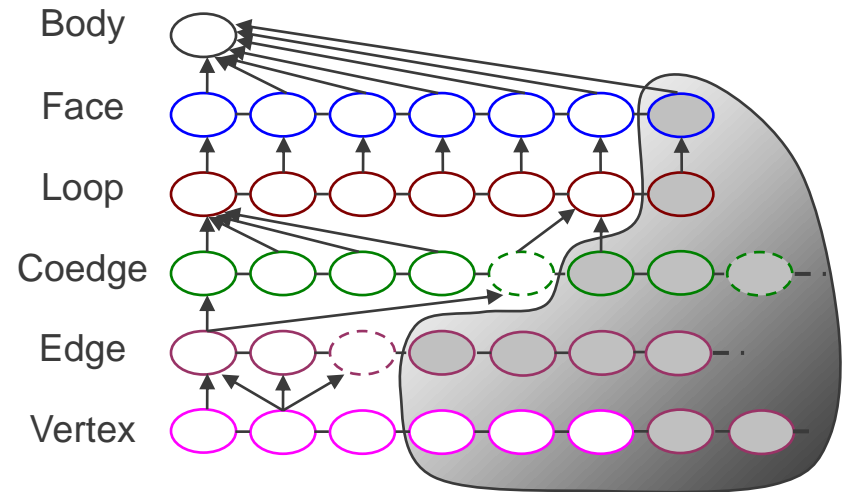
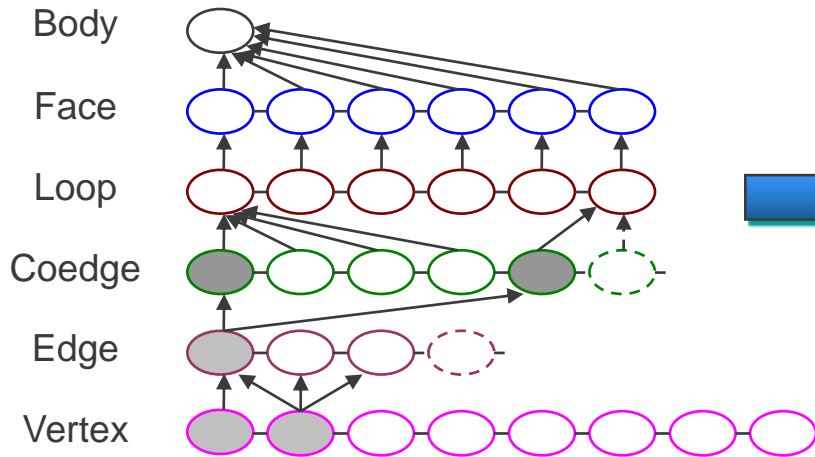
Änderung der BRep-Datenstruktur: Erzeugen einer Fase (vereinfacht)



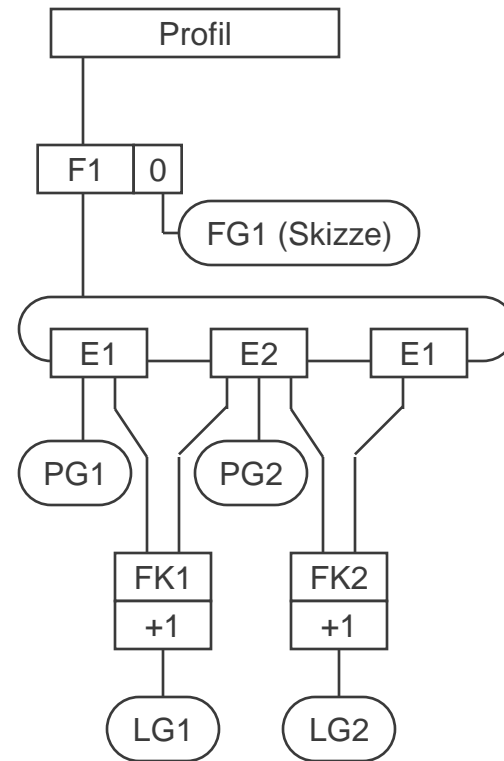
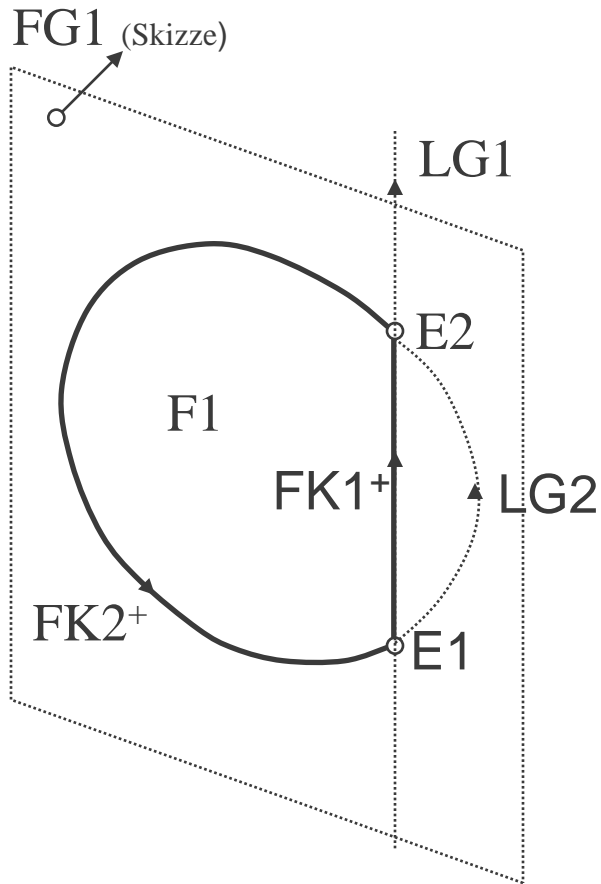
Gelöscht:
2 Coedges
1 Edge
2 Vertices



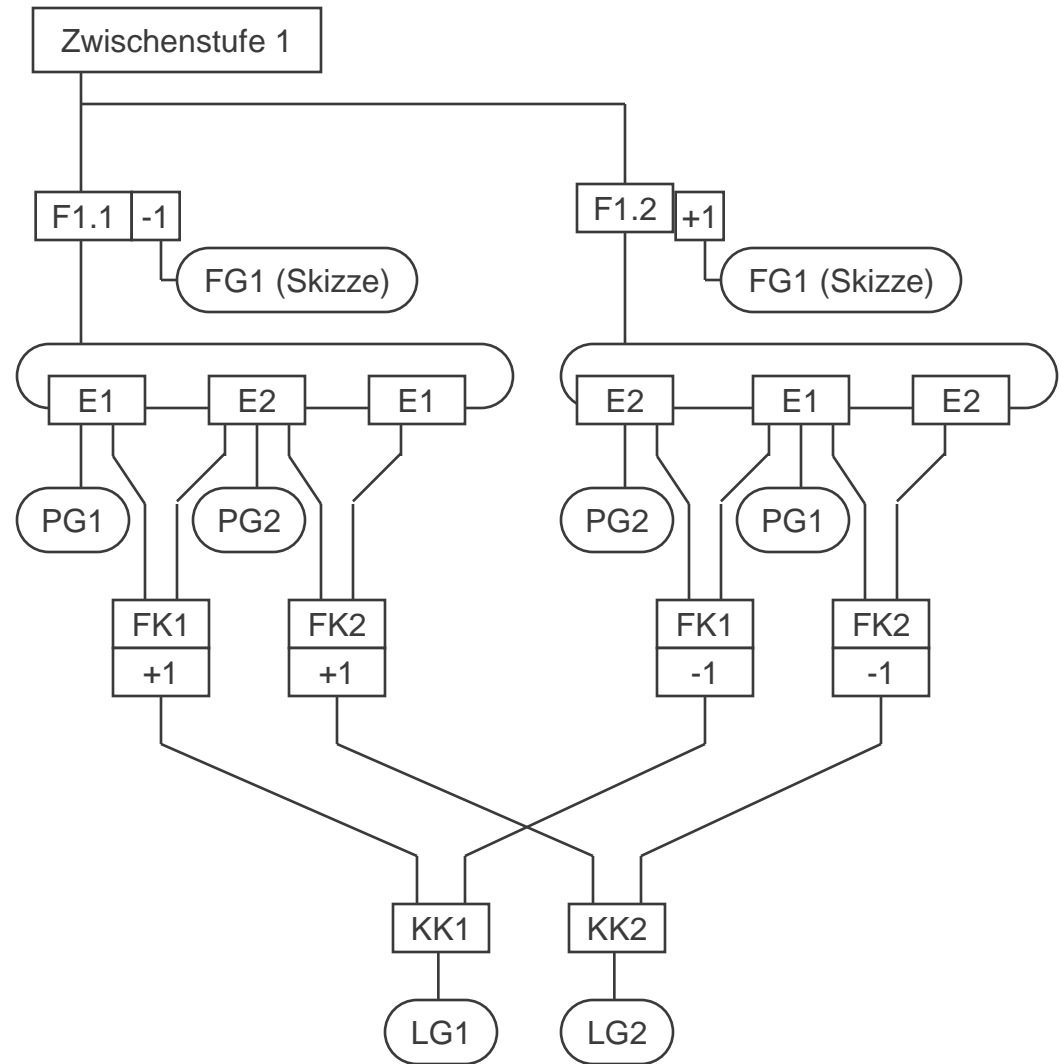
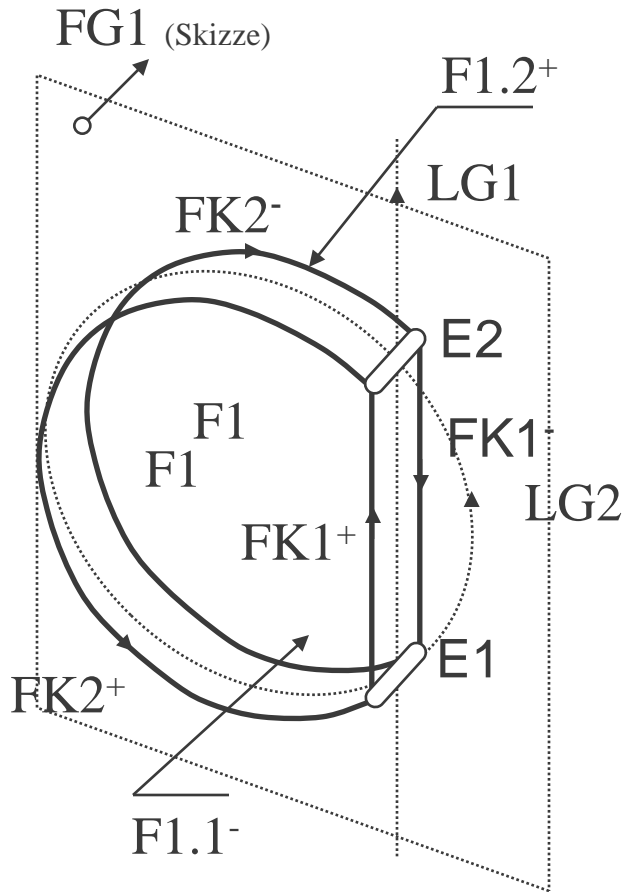
Erzeugt:
1 Face
1 Loop
8 Coedges
4 Edges
4 Vertices



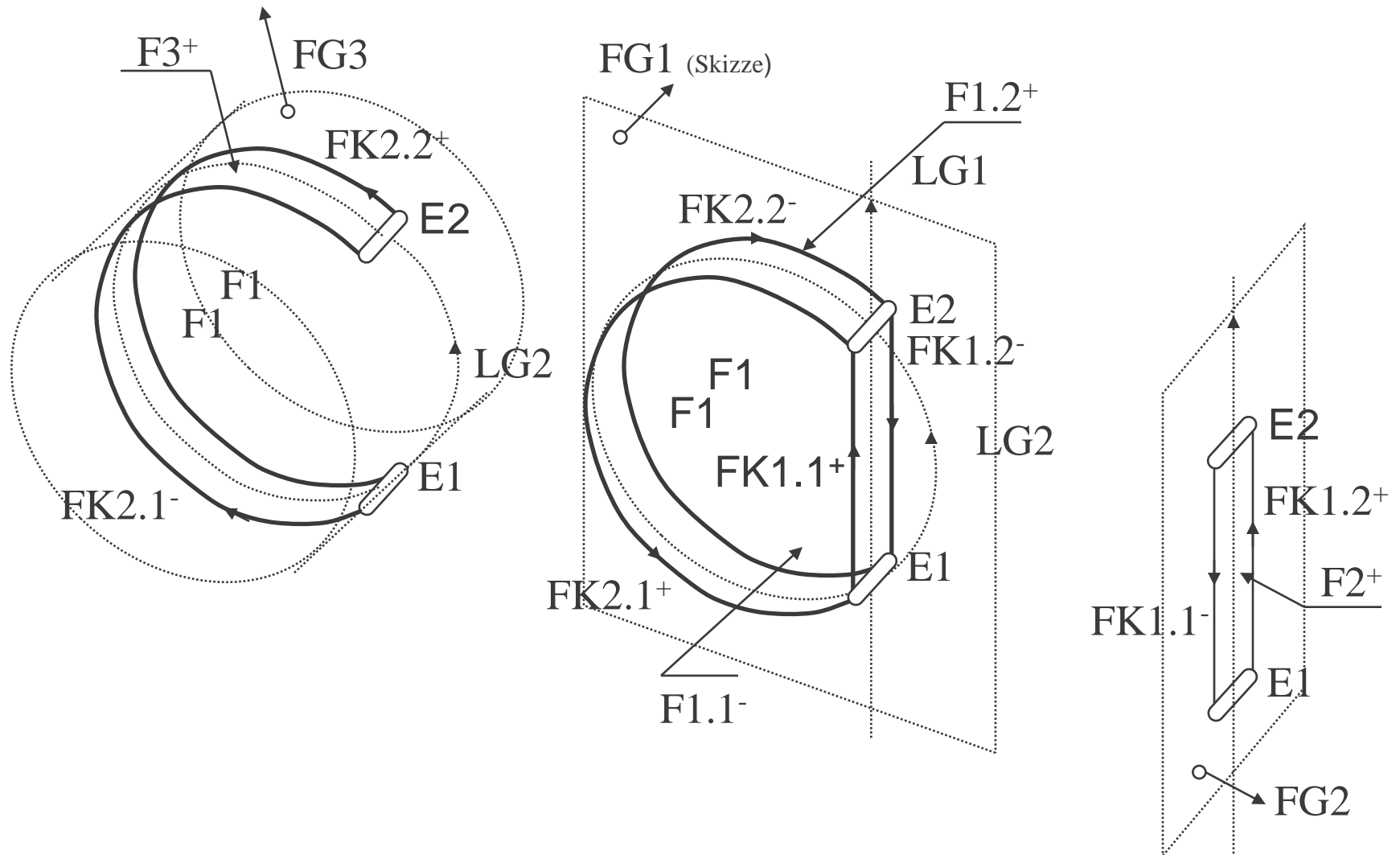
1. Ausgangszustand: erstellte Skizze



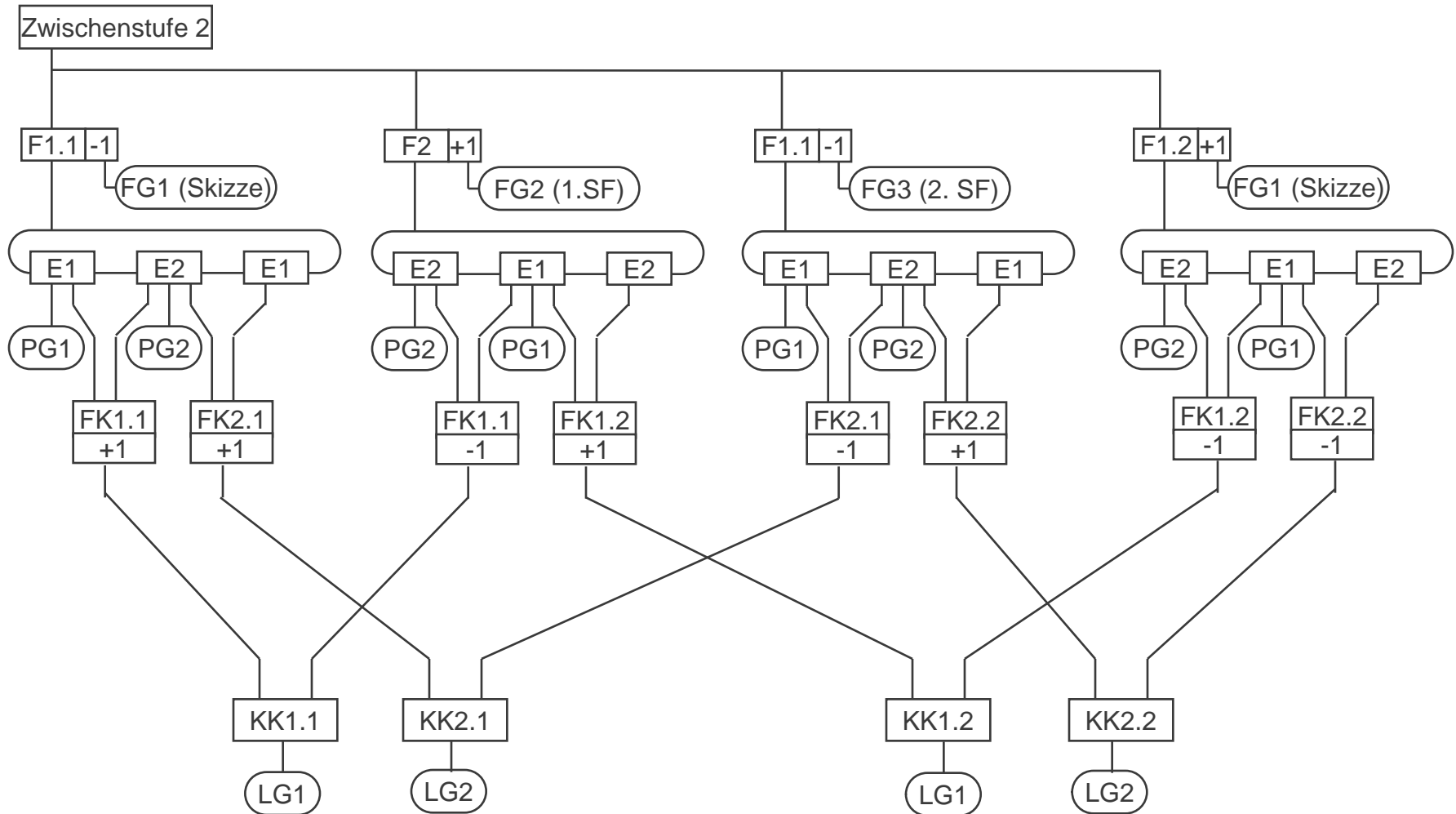
1. Zwischenstufe: Erzeugen eines ‘Scheibenkörpers’



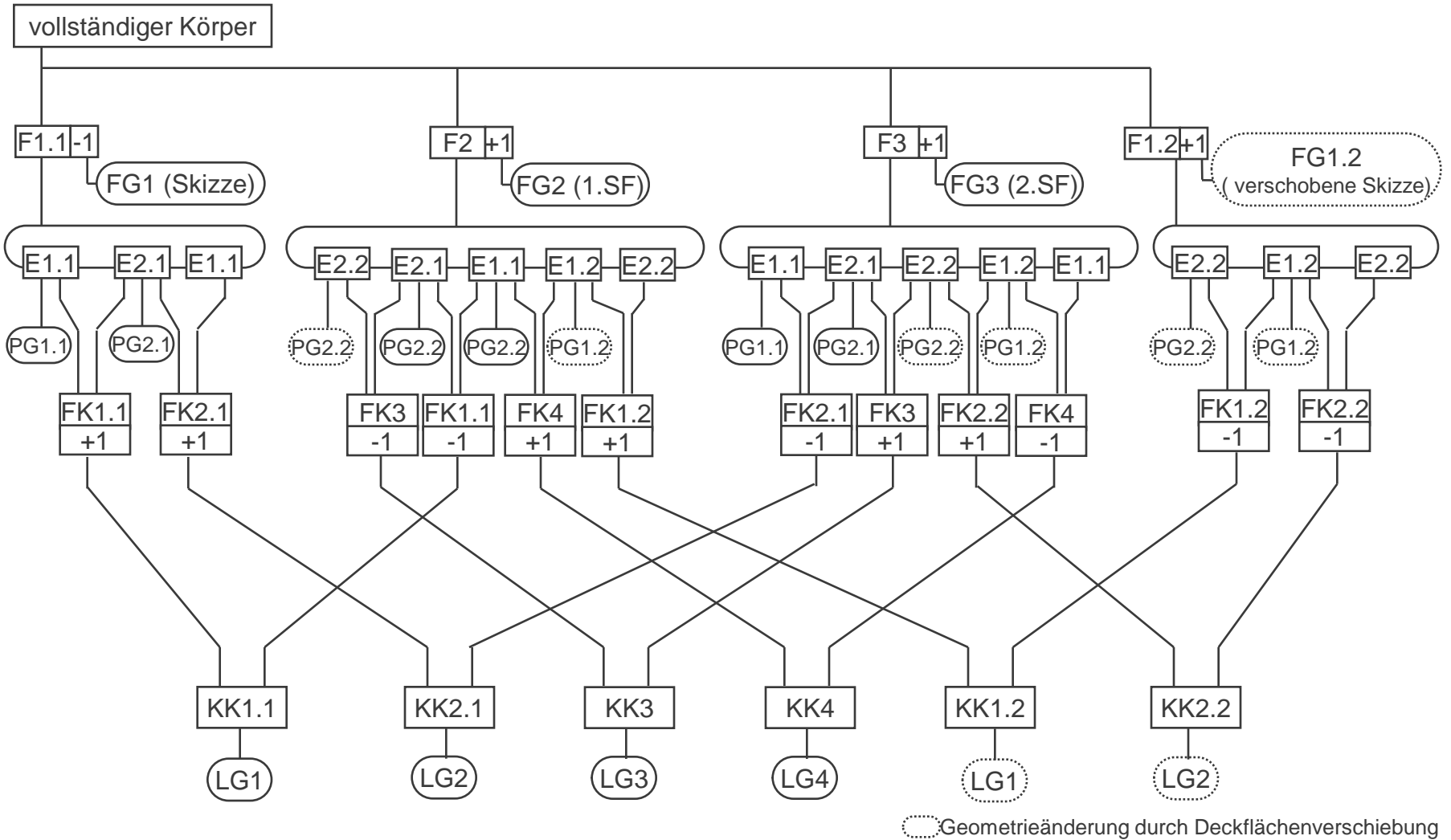
2. Zwischenstufe: Einfügen von Seitenflächen



2. Zwischenstufe: Einfügen von Seitenflächen



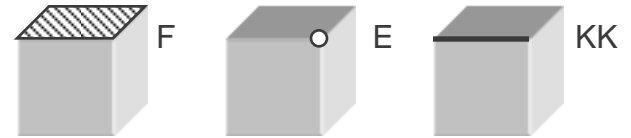
3. Vollständiger Körper: Einfügen von Seitenkanten und Verschieben einer Deckfläche



Einfache Körper: einfache Polyederformel nach EULER:

$$F + E - KK - 2 = 0$$

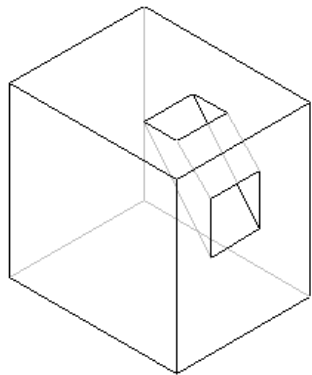
F: Anzahl der Flächen
E: Anzahl der Eckpunkte
KK: Anzahl der Körperkanten



Komplexe Körper: erweiterte Polyederformel nach Euler-Poincaré:

$$2F - ER + E - KK - 2S + 2D = 0$$

F: Anzahl der Flächen
E: Anzahl der Eckpunkte
KK: Anzahl der Körperkanten
ER: Anzahl der Eckpunktringe
S: Anzahl der Flächenschalen
D: Anzahl der Volumendurchbrüche



Beispiel:
Anzahl der Flächen: 10
Anzahl der Eckpunkte: 16
Anzahl der Körperkanten: 24
Anzahl der Eckpunktringe: 12
Anzahl der Flächenschalen: 1
Anzahl der Volumendurchbrüche: 1
 $\Rightarrow 2 \cdot 10 - 12 + 16 - 24 - 2 + 2 = 0$

oder als Bearbeitungsschritt "Erzeugen eines Durchbruches": $2 \cdot 4 - 6 + 8 - 12 + 2 = 0$

Generatives Volumenmodell

Volumen wird aus Vorrat von Grundvolumenmodellen nach den Regeln der Booleschen Algebra aufgebaut

Verknüpfungsoperationen (Entstehungshistorie) werden im CSG-Baum gespeichert

Visualisierung des CAD-Modells über aus Evaluierung des CSG-Baumes abgeleiteten Daten

Modelkonsistenz ist stets gewährleistet

Geringer Eingabeaufwand

Leichte Überführung in andere Geometriemodelle

Geringer Speicherplatzbedarf

Möglichkeit, alle Elemente in ihrer Gesamtheit zu manipulieren

Je Bildneuaufbau muss das Modell neu evaluiert werden

Einbeziehung von Freiformflächen ist schwierig

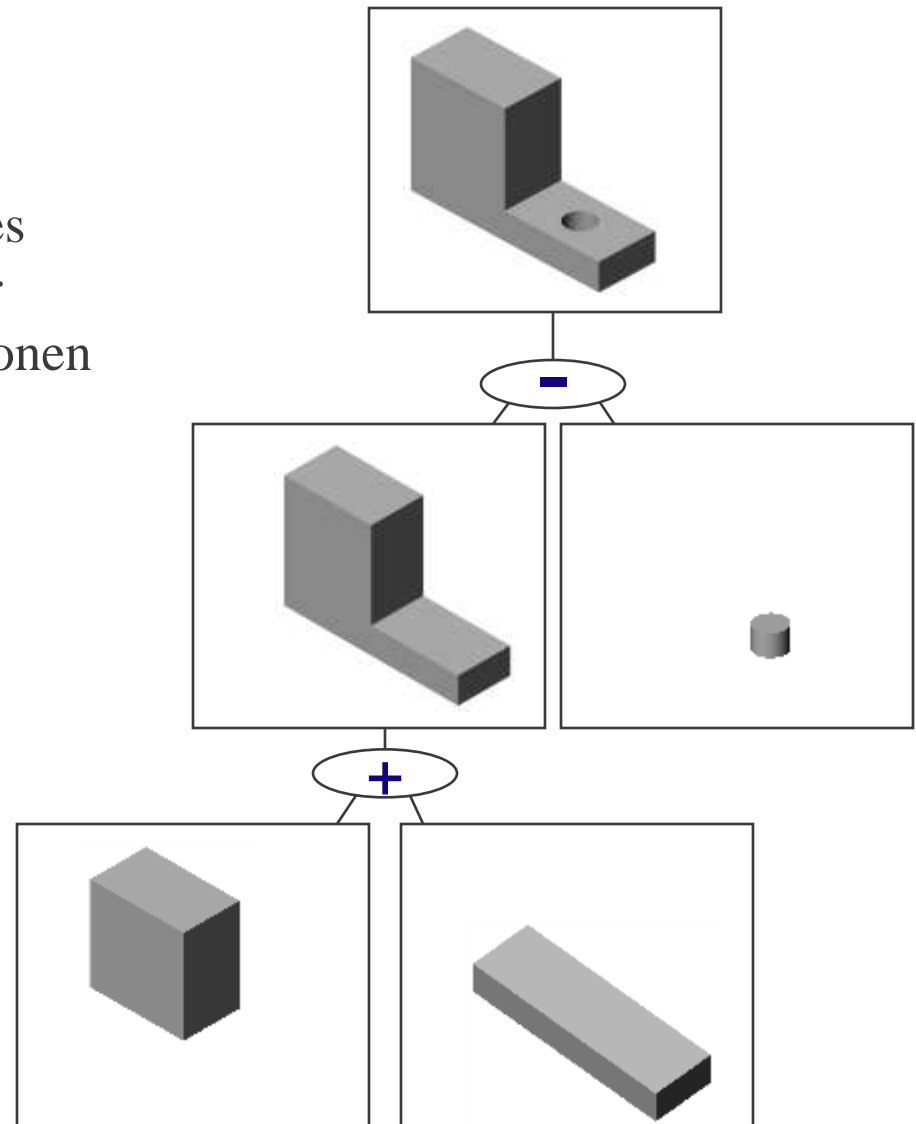
Keine Informationen über wirkliche Flächen und Kanten des Objektes im CSG-Baum
speicherbar

Einzelne Elemente des Volumens lassen sich nicht ohne weiteres manipulieren

Bezeichnung auch als operatives oder Boolesches Modell

Erzeugung eines abgebildeten Objektes durch definierte Volumengrundkörper (Volumenprimitive) und Basisoperationen auf diese Körper

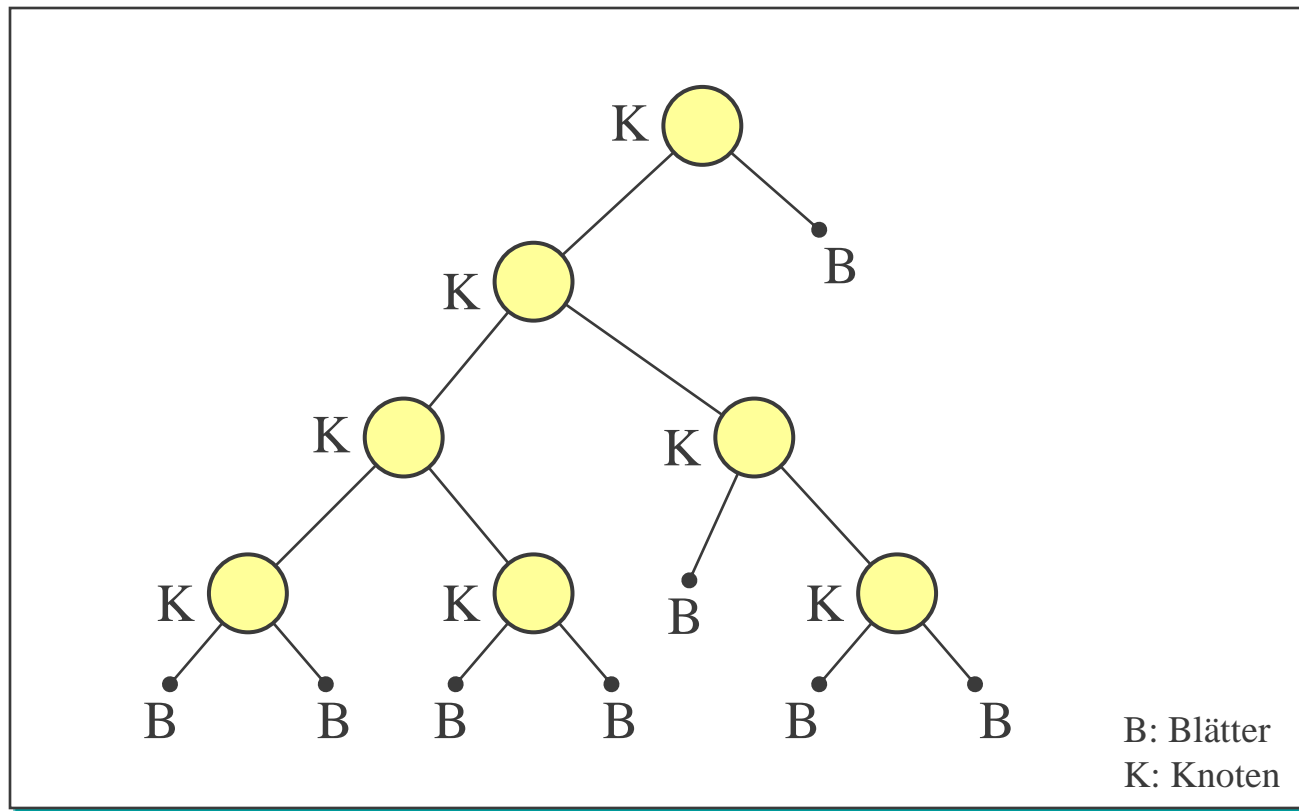
- Addition : +
- Subtraktion : -
- Schnitt: \cap



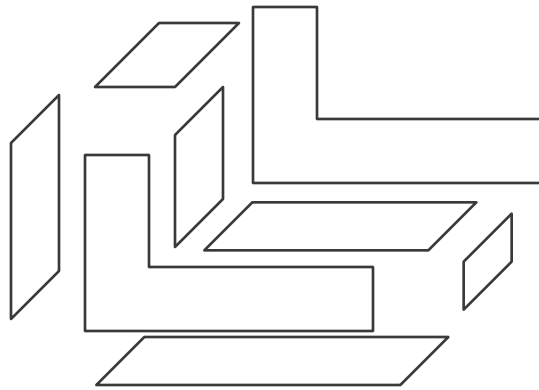
Aufbau des geometrischen CSG-Modells

- Datenstrukturelemente:
- Volumenprimitive mit Transformationsmatrizen
 - Operatoren

Anordnung der Elemente in binärer Baumstruktur:



BRep-Datenstruktur



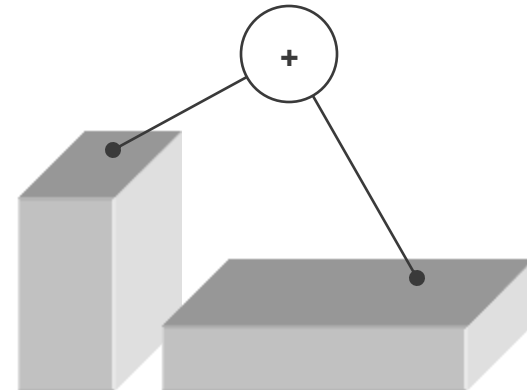
gespeichert:

- geometrische Primitive des Objektes
 - Relationen

Charakteristika:

- explizite Datenstruktur, evaluiert
 - komplexe Netzwerkstruktur
- Elemente des modellierten Objektes direkt manipulierbar
- Möglichkeiten des Anbringens technologischer Informationen an beliebige Elemente des Objektes
 - keine Info über Verknüpfungshistorie

CSG-Datenstruktur



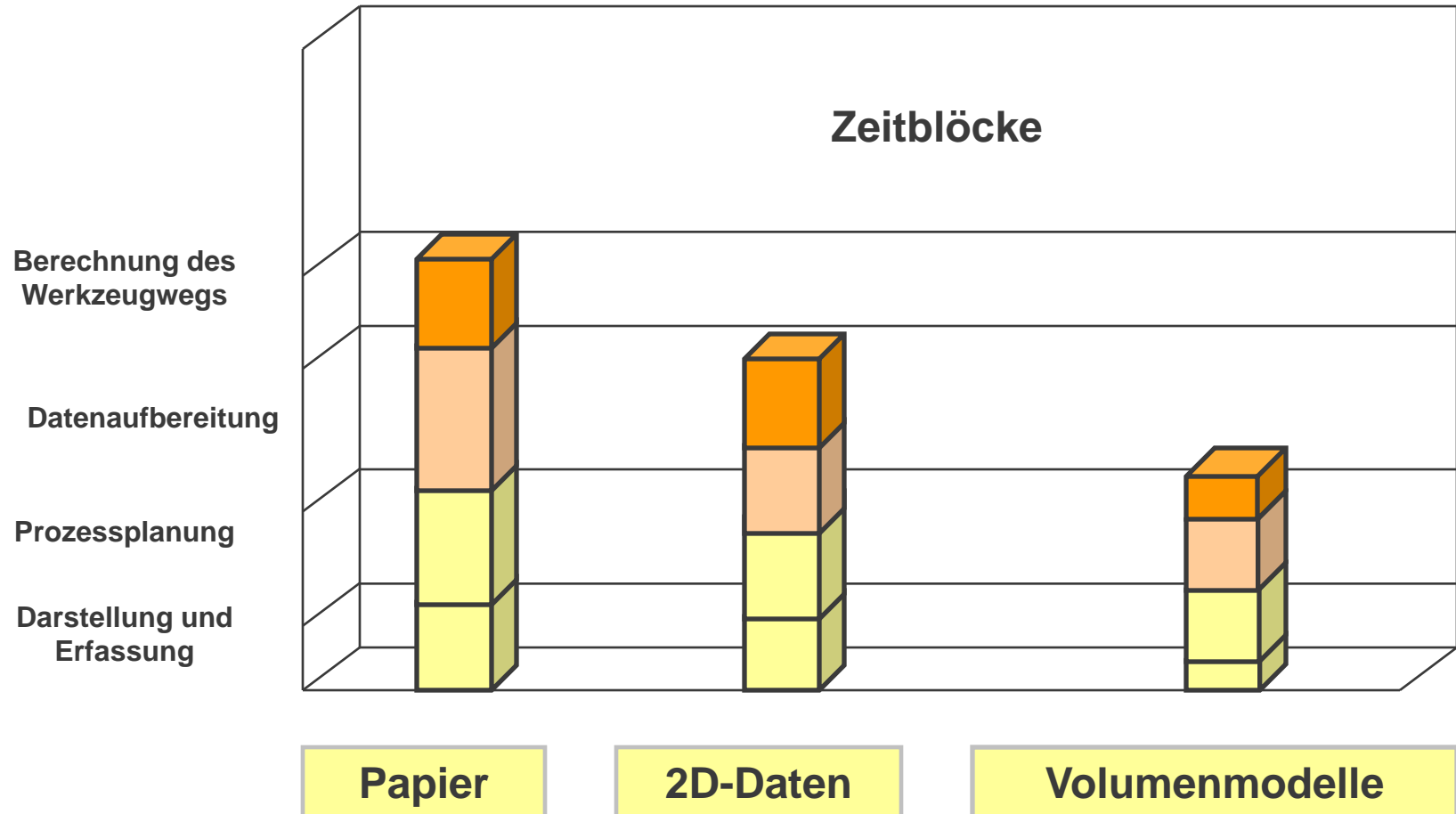
gespeichert:

- Volumenprimitive mit Transformationen
- „Verknüpfungshistorie“ (boolesche Operationen)

Charakteristika:

- implizite Datenstruktur, nicht evaluiert
- binäre Baumstruktur, kompakte Speicherung
- alle Elemente in ihrer Gesamtheit manipulierbar, wobei jedes für sich seine autonome Existenz behält.
- keine Info über wirkliche Flächen und Kanten des Objektes

Vorteile des Volumenmodells



Als Modellierkern (engl. geometry kernel) bezeichnet man den Kern zur **Geometriebeschreibung** und -darstellung, der in CAD-Systemen verwendet wird. Es gibt derzeit zwei weitverbreitete kommerzielle Modellierkerne, die von verschiedenen CAD-Herstellern lizenziert sind und somit in unterschiedlichen CAD-Programmen verwendet werden



Als Modellierkern (engl. geometry kernel) bezeichnet man den Kern zur **Geometriebeschreibung** und -darstellung, der in CAD-Systemen verwendet wird. Es gibt derzeit zwei weitverbreitete kommerzielle Modellierkerne, die von verschiedenen CAD-Herstellern lizenziert sind und somit in unterschiedlichen CAD-Programmen verwendet werden

1. ACIS

entwickelt von der Firma Spatial Corp, die heute zum Dassault-Konzern gehört.



Der Kernel wird (zum Teil stark modifiziert) in ca. 120 CAD-Systemen, wie z.B. AutoCAD Mechanical Desktop, Inventor, CADdy, MegaCAD, LogoCAD, CoCreate Modeling als Basis genutzt.

2. Parasolid

entwickelt von der Firma UGS, die heute zum Siemens-Konzern gehört. Der Kernel wird außer in dem UGS-systemeigenen CAD-System NX unter Anderem von SolidWorks und Solid Edge genutzt.



- ◆ **Granite One**

von PTC entwickelt und ausschließlich in Pro/Engineer genutzt.



- ◆ **Catia Geometric Engine**

Kern von *CATIA* (Dassault Systems)



- ◆ **Shape Manager**

ein auf dem ACIS 7.0 -Kernel aufbauender Geometrie-Kern von Autodesk. Er kommt in den neuen Versionen von AutoCAD und Inventor zum Einsatz.



- ◆ **Open CASCADE**

Frei verfügbares Modelliersystem „**Open CASCADE**“, das ein in C++ geschriebenes quelloffenes Software Development Kit (SDK) für Linux, Solaris und Windows ist.



ACIS ist ein objektorientierter Geometriemodellierkern, der für Applikationen im Bereich der dreidimensionalen Geometriemodellierung und Geometriedatenverarbeitung entwickelt wurde

Modellieren von Draht-, Flächen und Volumenmodellen in einer einzigen Umgebung durch Koexistenz der Daten

Ein ACIS- Modell kann sich aus Kombinationen verschiedener Modelle zusammensetzen (gemischte Dimensionalitäten)

Ein abgeschlossenes Volumen (Solid) kann durch interne Flächen in einzelne “Zellen“ eingeteilt werden

Unterstützung von manifold (real fertigbare) und non-manifold (nicht fertigbare) Geometrie

Geometrie, die sich mit Hilfe linearer oder quadratischer Gleichungen beschreiben lässt, wird analytisch beschrieben

Freiformflächen werden mit Hilfe von NURBS repräsentiert



Quelle: Spatial Technology Inc.

Geometriemodellierungskern über analytisches BRep-Modell

Körper können in Zellen gegliedert sein

Freiformflächen (Oberflächen)-modellierung ist integriert

Mathematische Genauigkeit besteht von einfachen Körpern bis zu komplexen Oberflächen

Verwendung bei CAD/CAM/CAE-Anwendungen im Maschinenbau und im Architektur-, Bau- sowie Virtual Reality-Bereich

Bibliothek von über 500 objektorientierten Routinen

Schnittstelle über C, C++ und Visual C++

Windows NT- und UNIX- Plattform

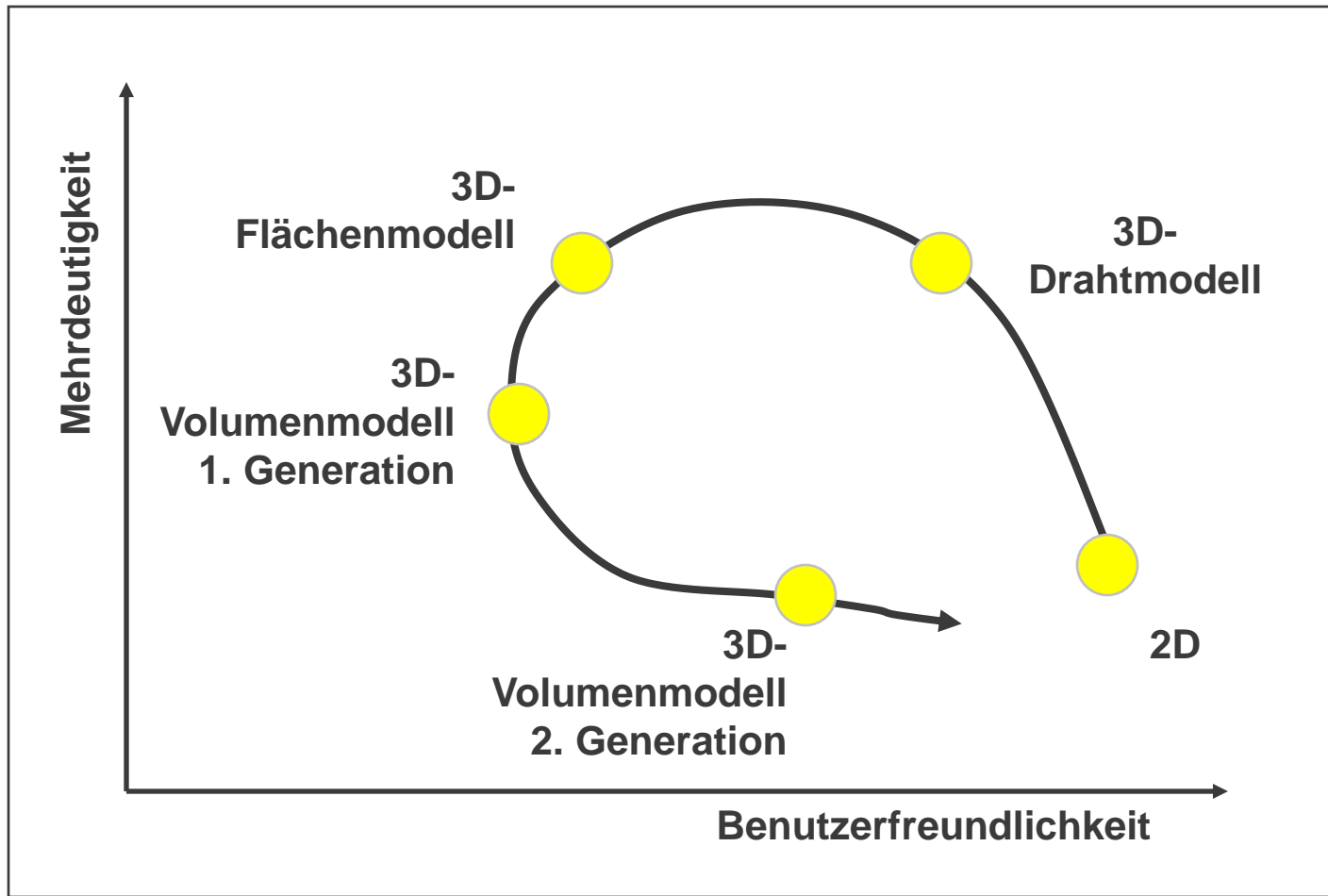
Produkte: Unigraphics NX, Solid Edge, SolidWorks, Microstation

325.000 User-Lizenzen im Einsatz (2Q99).

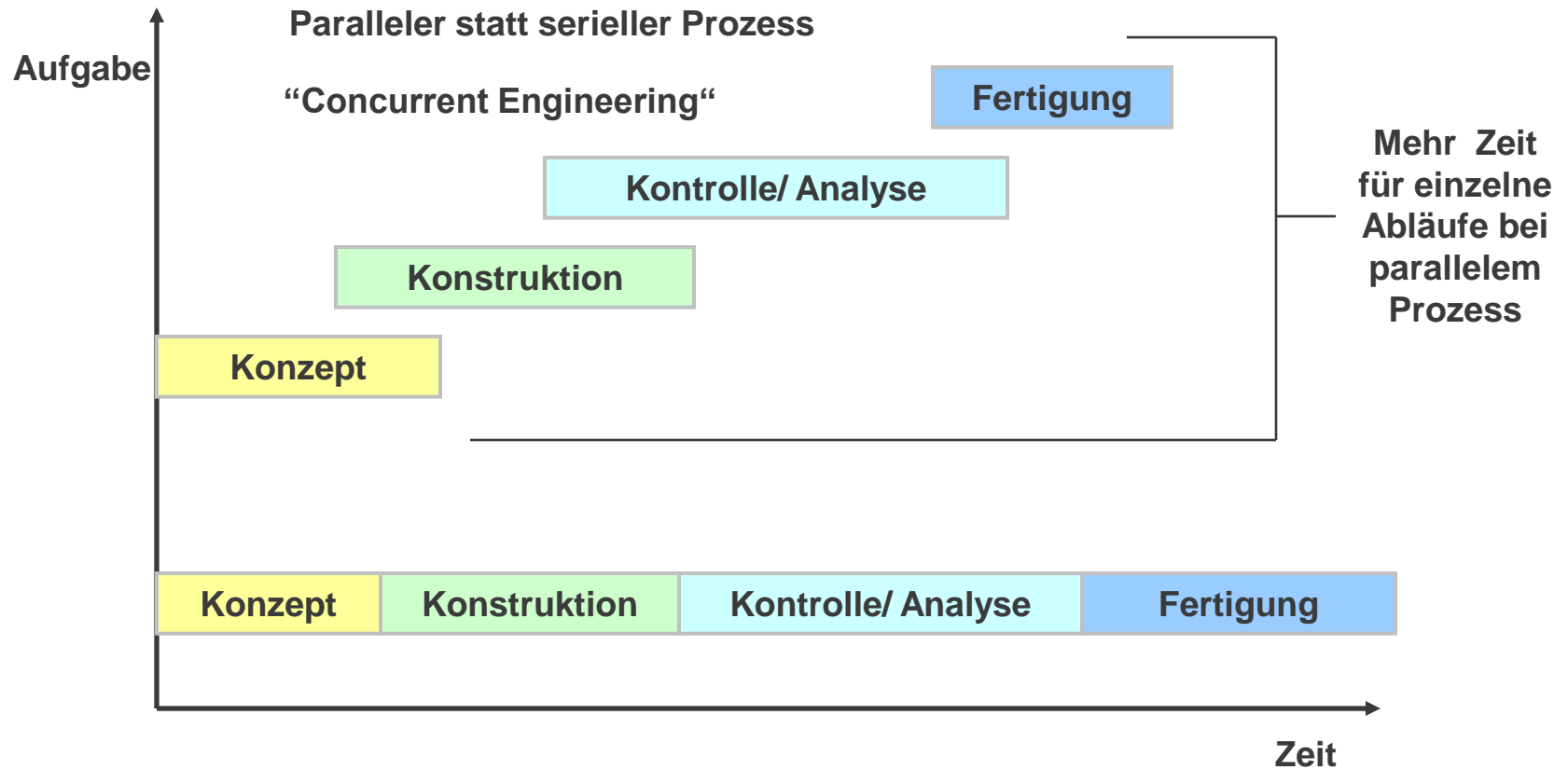


Quelle: <http://www.plmsolutions-eds.com>

Mehrdeutigkeit der Modelldarstellung



Vorteile des Volumenmodells



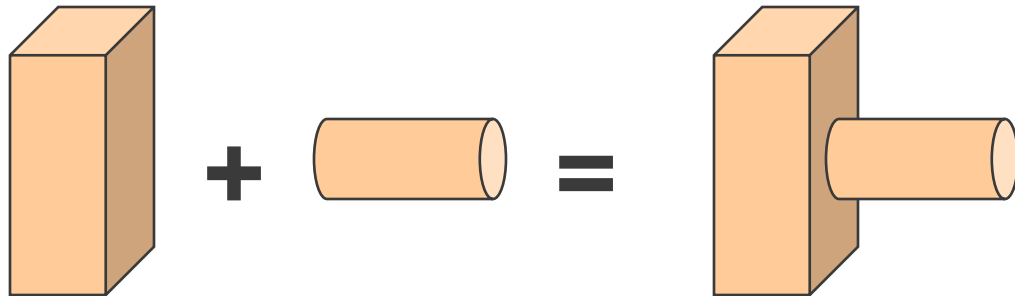


Modelliertechniken

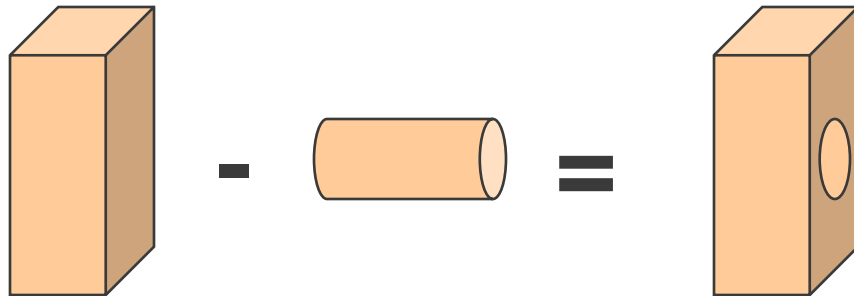
- Volumenerzeugung
- Volumensubtraktion
- Oberflächen
- Kurven
- Trennlinien und Flächen

- **Boolesche Operationen** (Addition, Subtraktion, Durchschnitt)
- **Expansion zweidimensionaler Profile** (Extrudieren, Rotieren)
- **Formelementkonstruktion** (Feature- Design)
- **3D- Digitalisierung** (Scannen)
- **Freiformflächen- Generierungstechniken** (Sweeping, Lofting, Skinning)

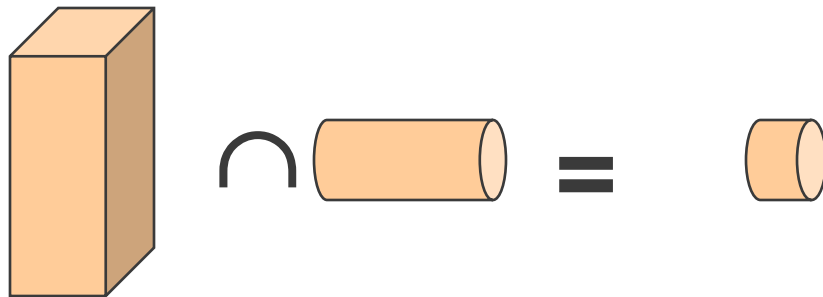
Boolesche Operationen



Addition

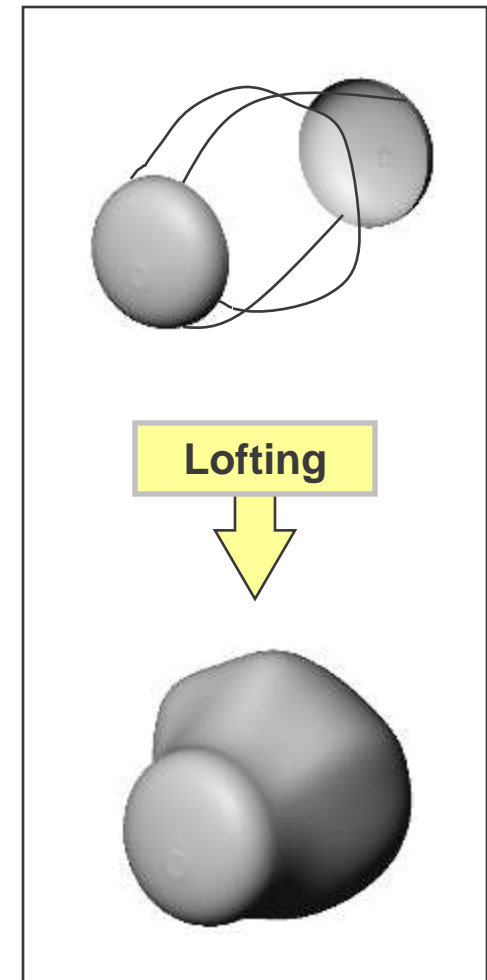
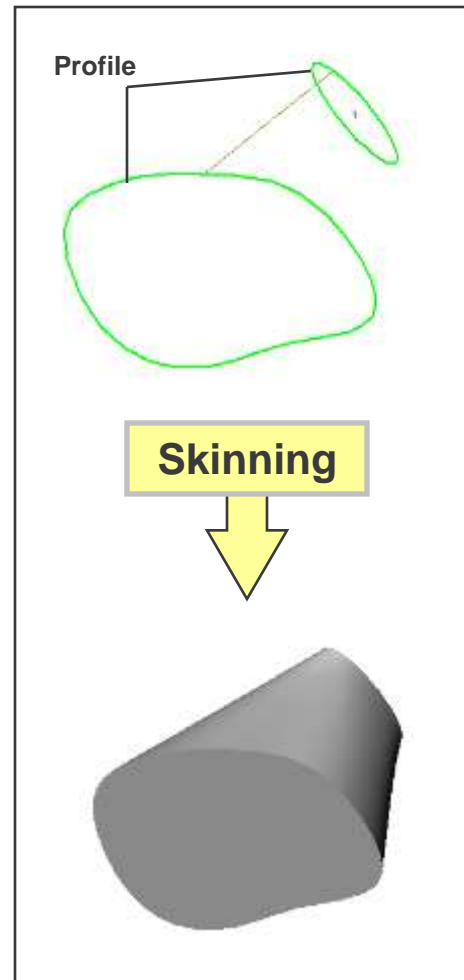
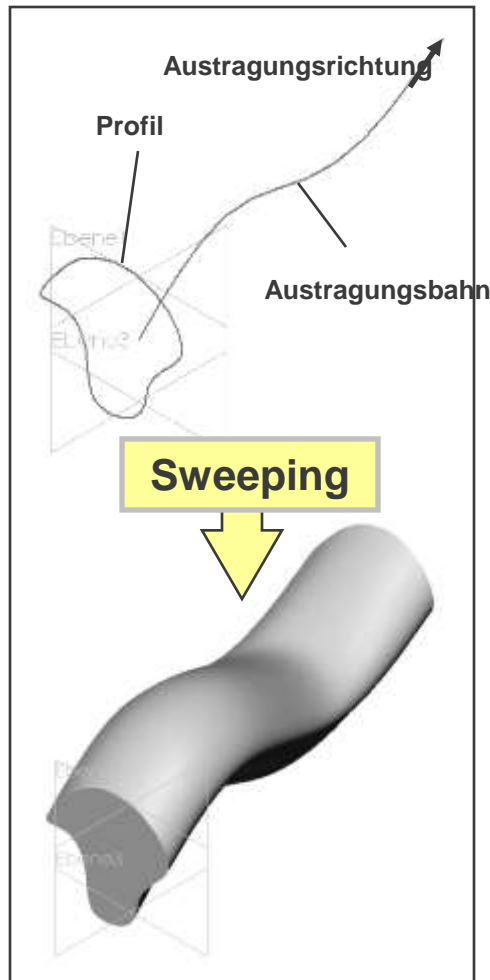


Subtraktion



Schnitt

Geometrieerstellung von Freiformflächen



mathematische Verfahren für Freiformflächen

Bezier-Splines

- keine lokale Manipulation durch Hinzufügen oder Löschen von Punkten
- viele Stützpunkte für gute Anpassungsfähigkeit bewirken hohen Polynomgrad
- für Freiformkurven und -flächen
- relativ stabil

Nachteile:

- langsamere Algorithmen als bei analytischen Geometriearten
- numerische Genauigkeit nur schwer zu erzielen
- keine exakte Nachbildung analytischer Kurven
- große Datenmengen

B-Splines

- Stützpunkte können hinzugefügt und gelöscht werden, dadurch lokale Manipulation im Bereich weniger Punkte möglich
- Stützpunkte haben keinen Einfluss auf den Grad der Kurve
- für Freiformkurven und -flächen
- relativ stabil

Nachteile:

- langsamere Algorithmen als bei analytischen Geometriearten
- numerische Genauigkeit oft nur schwer zu erzielen
- keine exakte Nachbildung analytischer Kurven
- große Datenmengen

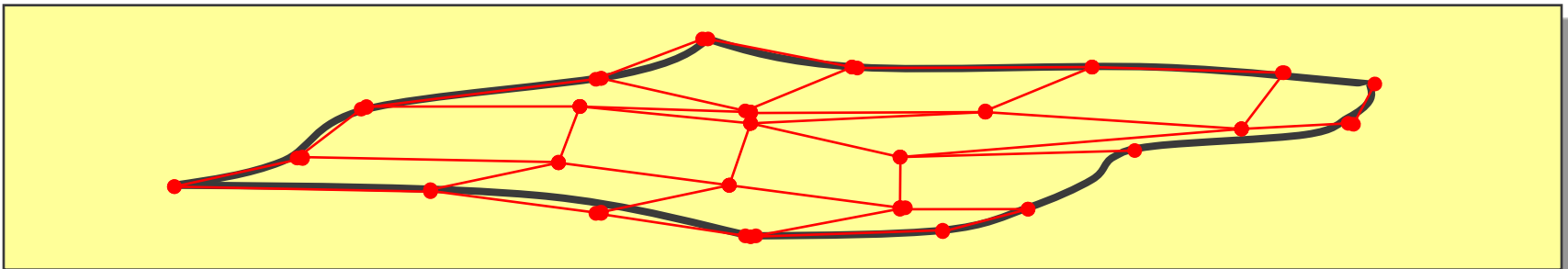
NURBS

(Non-uniform rational B-Splines)

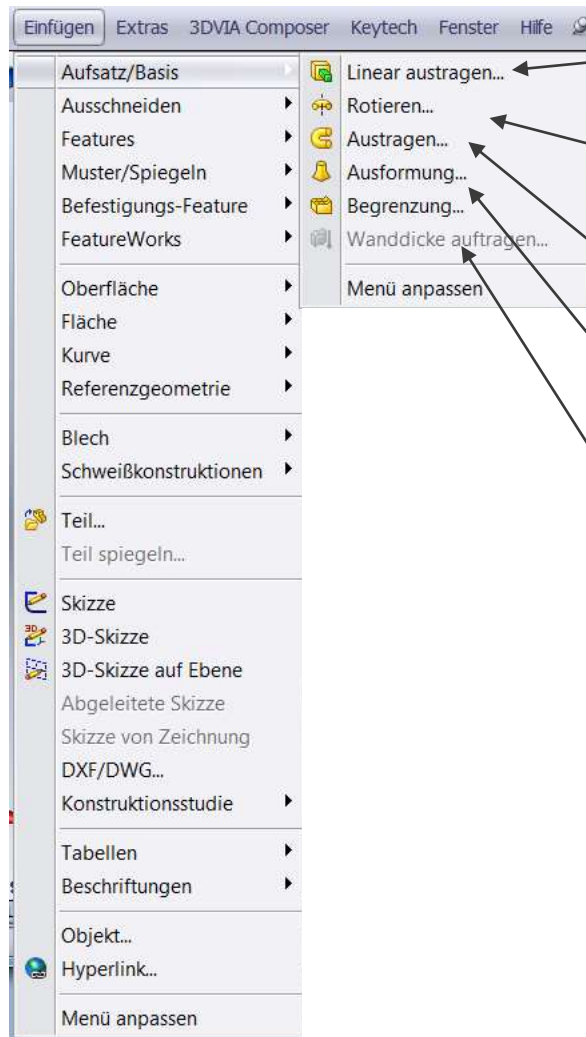
- Entspricht B-Splines mit einem weiteren Freiheitsgrad
- Gewichtung jedes Polygonpunktes; eine hohe Gewichtung bewirkt, dass die Fläche dichter an den Polygonpunkt rückt
- exakte Wiedergabe analytischer Geometrie
- für Freiformkurven und -flächen

Nachteile:

- langsamere und instabilere Algorithmen als bei analytischen Geometriearten
- nicht alle Modelloperationen(z.B. Lofting) lassen sich ohne weiteres umsetzen



Funktionen zur Volumenerzeugung in SolidWorks



Extrudieren einer Skizze in senkrechter Richtung zur Skizzierebene

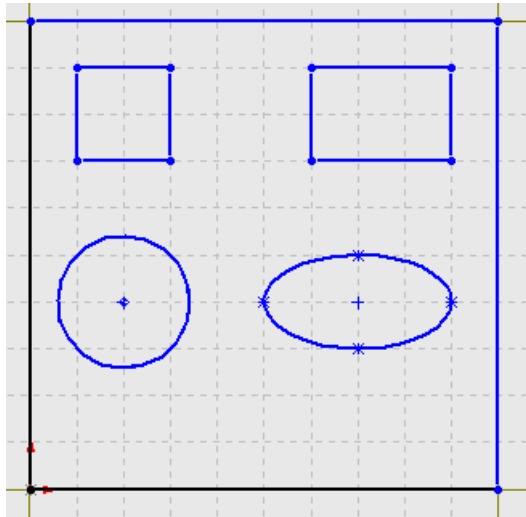
Rotieren eines Skizzenprofils um eine in der Skizze vorhandene Mittellinie


Austragen eines Skizzenprofils entlang einer Leitkurve

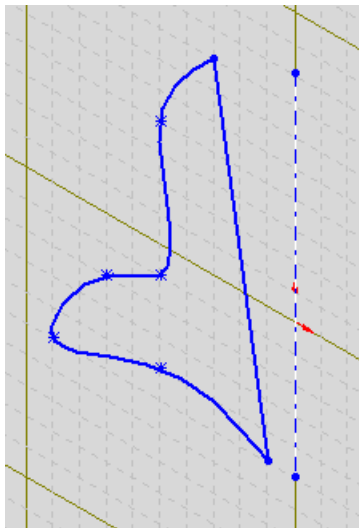
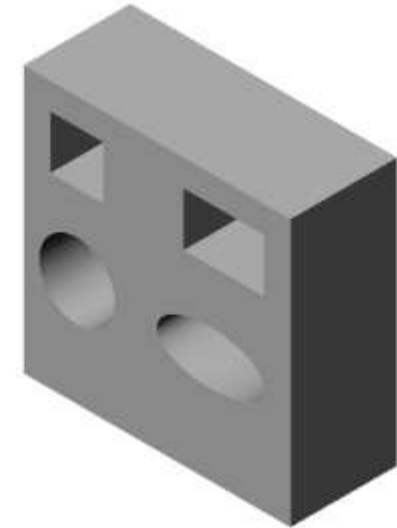
Erzeugen von Volumen durch "Bespannen" von mehreren Skizzenprofilen mit / ohne Leitkurve

Erzeugen von Volumen durch Auftragen einer Wandstärke auf eine vorhandene Oberfläche

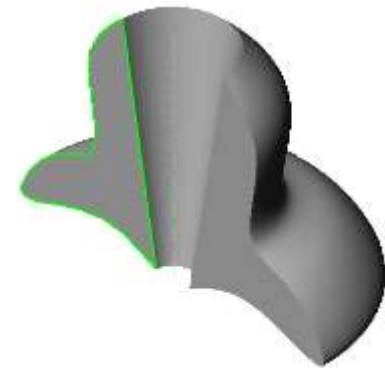
Funktionen zur Volumenerzeugung: Linear Austragen und Rotieren



 Linear Austragen
(Extrudieren)



 Rotieren
(Revolve)



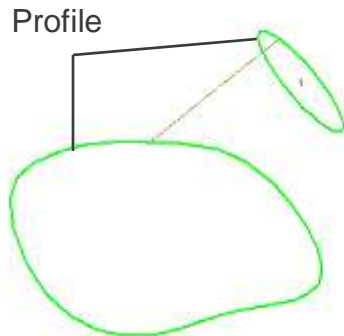
Funktionen zur Volumenerzeugung: Austragen und Ausformen



Austragen
(Sweeping)



Hinweis: Die Austragungsbahn kann auch aus Körperkanten bestehen



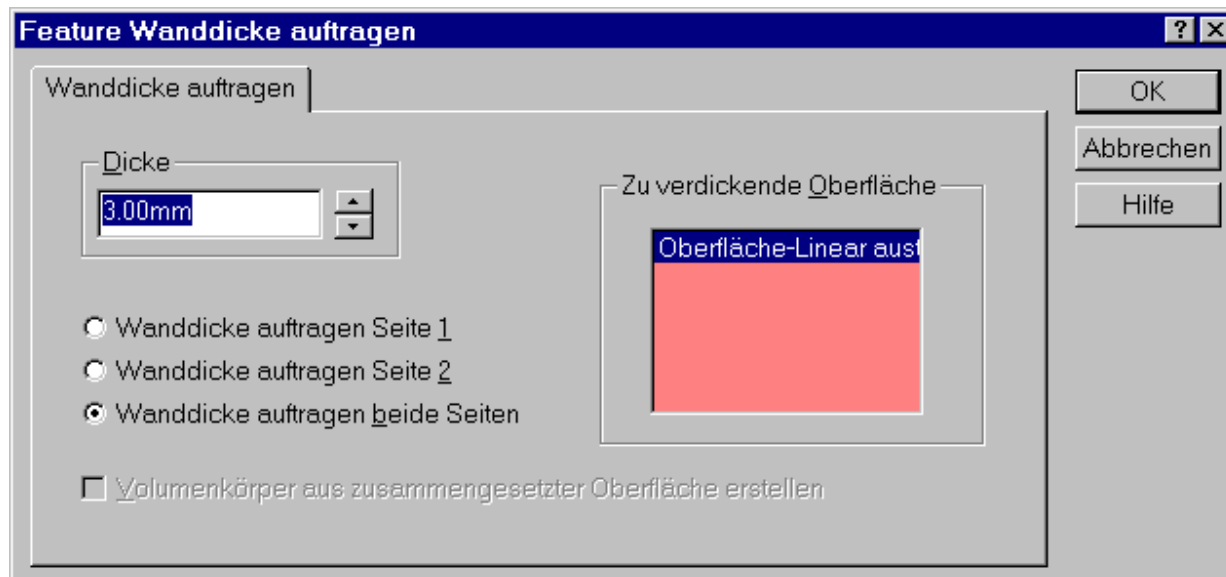
Ausformen
(Skinning, Lofting)



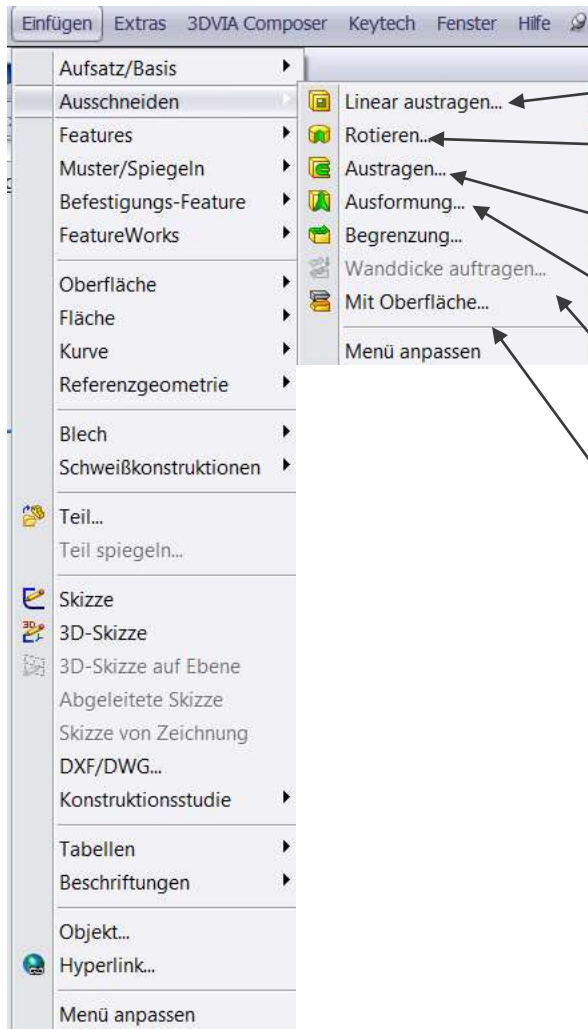
Hinweis: Aus Körperkanten *zusammengesetzte Kurven* (*Menübefehl*) oder Körperflächen sind auch als Profile gültig. Die Auswahl von geschlossenen Kurvenzügen kann durch eine Auswahlbox im 3D-Fenster oder über r. MT. *Kurvenzug auswählen* erleichtert werden.



Funktionen zur Volumenerzeugung: Wanddicke auftragen



Funktionen zur Volumensubtraktion in SolidWorks



Schnitt eines Teils mit einer Skizze in senkrechter Richtung

Rotierter Schnitt einer Skizze um eine in der Skizze vorhandene Mittellinie

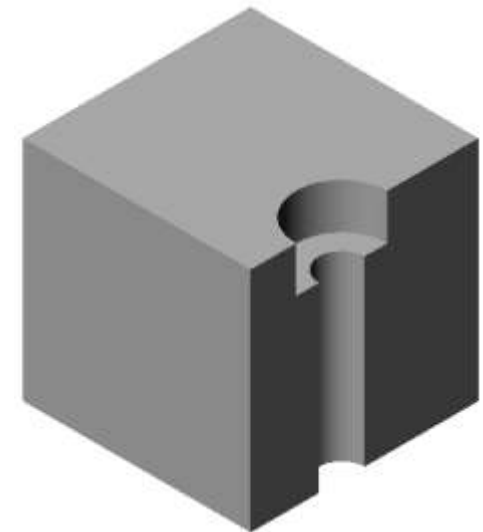
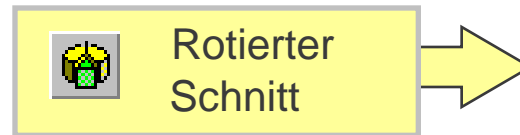
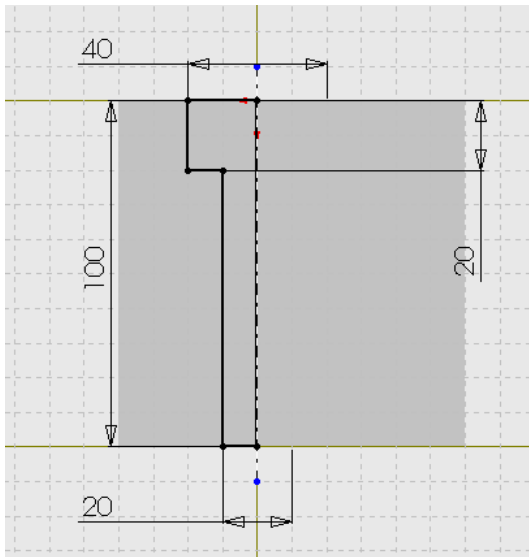
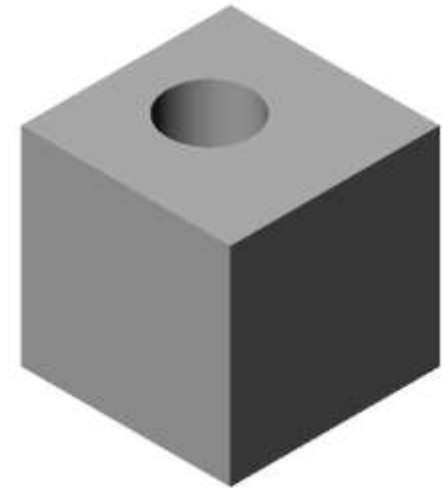
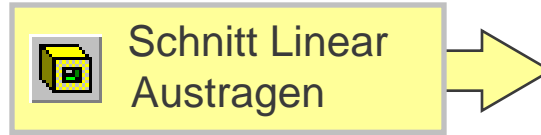
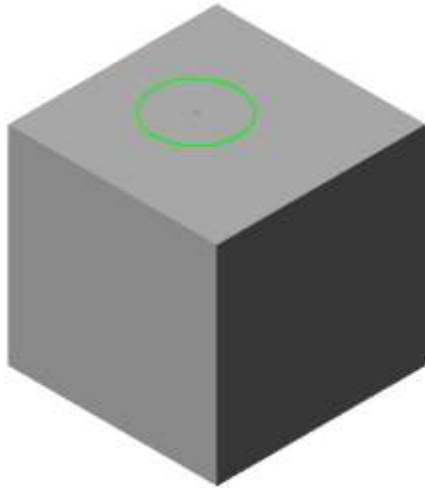
Subtrahieren von Volumen, das durch Austragen einer Skizze mit Leitkurve entsteht.

Subtrahieren von Volumen, das durch "Bespannen" von mehreren Skizzen mit / ohne Leitkurve entsteht.

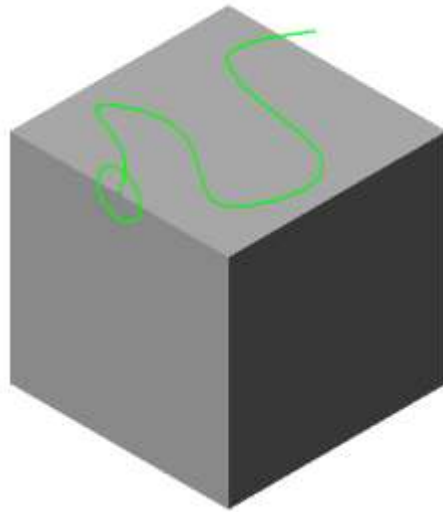
Subtrahieren von Volumen, das durch Auftragen einer Wandstärke auf eine vorhandene Oberfläche entsteht.

Abtrennen von Volumen eines Körpers durch eine Oberfläche, die den Körper in mindestens zwei Bereiche teilt.

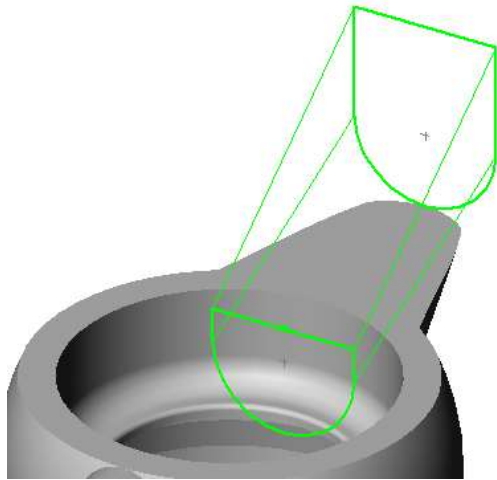
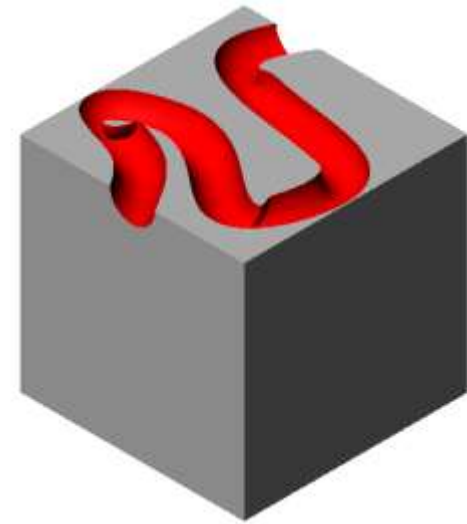
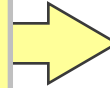
Funktionen zur Volumensubtraktion: Linear Austragen und Rotieren



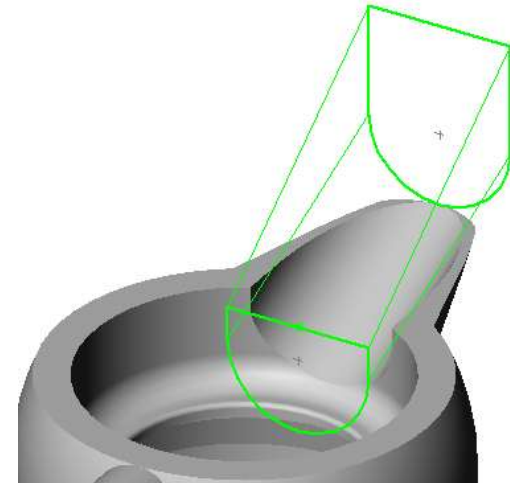
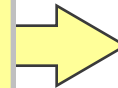
Funktionen zur Volumensubtraktion: Austragen und Ausformen



Ausgetragener
Schnitt

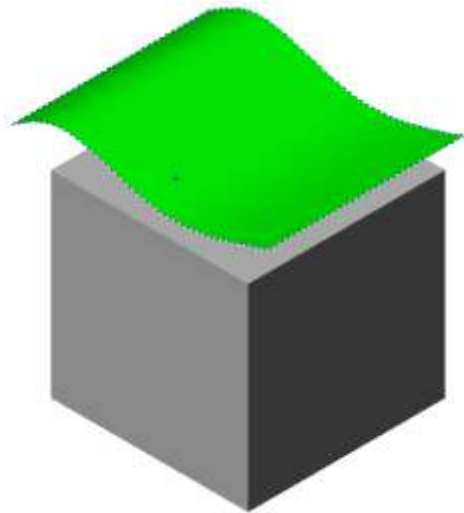


Ausgeformter
Schnitt

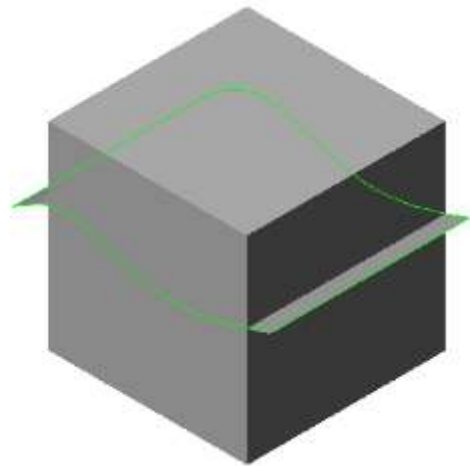
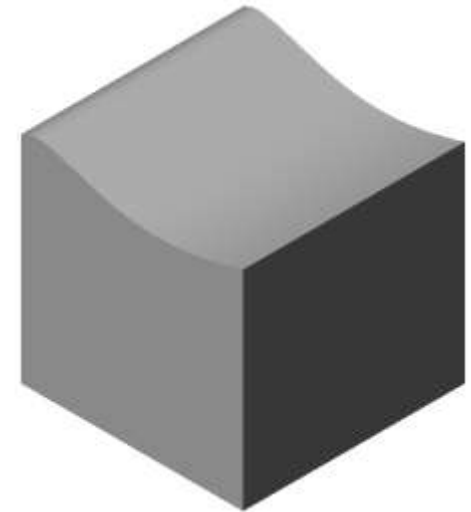
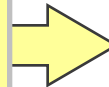


Hinweis: Die Austragungsbahn kann auch aus Körperkanten bestehen

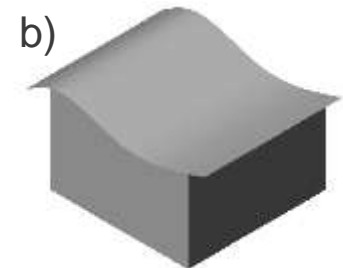
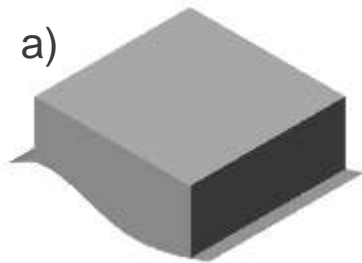
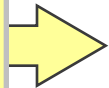
Funktionen zur Volumensubtraktion: Einsatz von Oberflächen



Schnitt
Mit Wanddicke
Auftragen



Schnitt
Mit Oberfläche
und Wahl der Schnittseite



Elemente des Menüpunktes *Features*

The image shows a screenshot of a CAD software menu with the 'Features' option selected. The menu items are as follows:

- Skizze von Zeichnung
- Features** (selected)
- Muster/Spiegeln
- Bibliotheks-Feature...
- Basisteil...
- Teil spiegeln...
- Referenzgeometrie
- Beschriftung
- Tabelle...
- Neue Tabelle
- Biegetabelle
- Objekt...

The 'Features' sub-menu contains the following items:

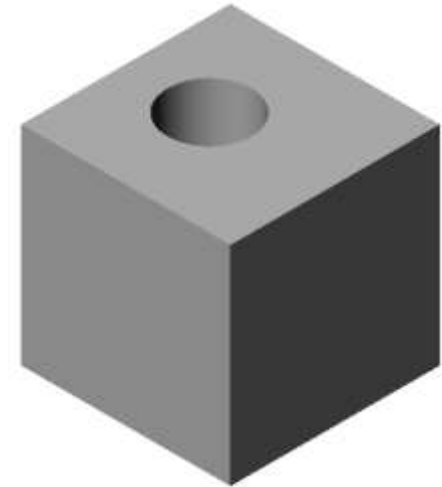
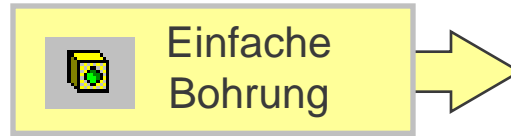
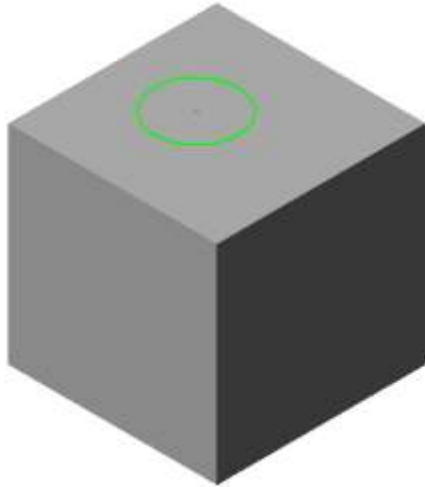
- Verrundung/Rundung...
- Fase...
- Bohrung
- Formschräge ...
- Wandung...
- Verstärkungsrippe...
- Blech
- Skalieren...
- Kuppel...
- Form...
- Formnest...
- Verzwingen...

Annotations and their descriptions:

- Einfach...**: Erzeugt einen linear ausgetragenen Schnitt einer Kreisfläche und damit eine einfache Bohrung mit Optionen für die Tiefe und Formschräge
- Assistent...**: Erzeugt Bohrungen durch Auswahl eines vorgegebenen Typs, z.B. "Stirnsenkung"
- Wandung...**: Erzeugt einen Hohlkörper mit konstanter Wandstärke
- Verstärkungsrippe...**: Erzeugt eine Verstärkungsrippe an zwei sich schneidenden Flächen
- Blech**: Erzeugt Abwicklungen von dünnen Blechteilen
- Skalieren...**: Skaliert ein Teil bezüglich eines Punktes
- Kuppel...**: Erzeugt eine Kuppel auf einer Modellfläche
- Form...**: Erzeugt eine Kuppel mit erweiterten Optionen

Feature *Bohrung*

- Fläche auswählen und Befehl durch Einfügen, Features, Bohrung Einfach/Assistent ausführen



Bohrungsdefinition

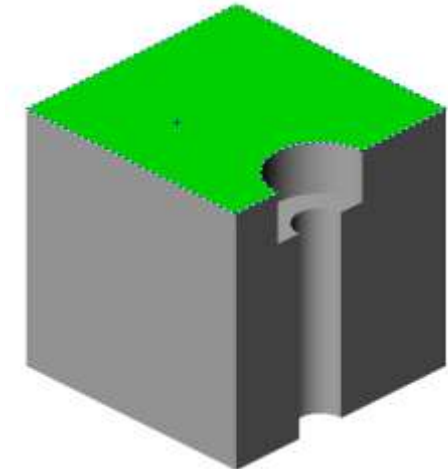
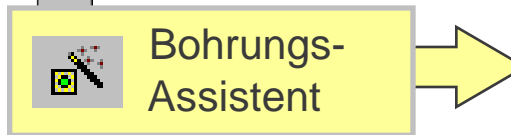
Bohrungstyp:
Wird bearbeitet

Profilbemaßungen:

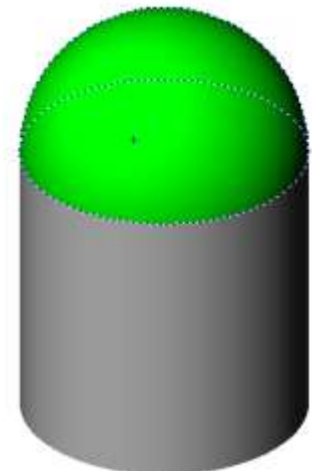
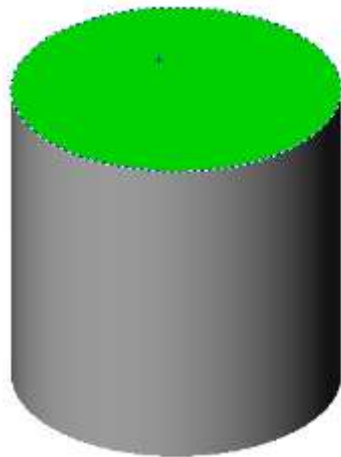
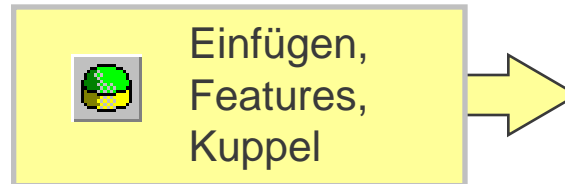
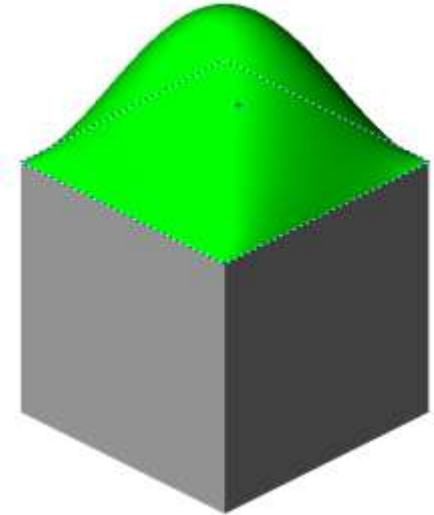
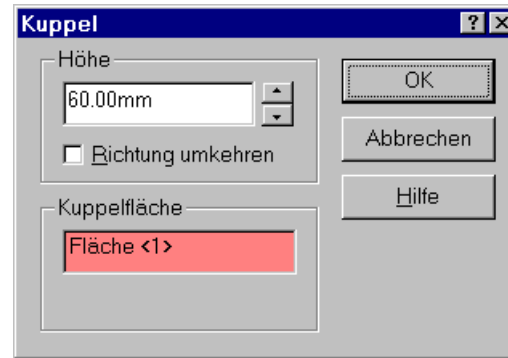
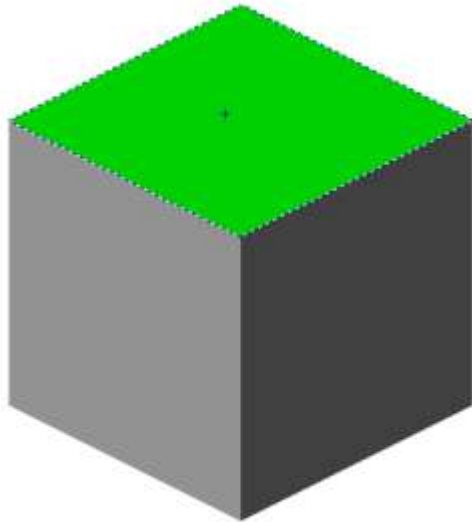
| Wert | Bemaßung |
|----------|---------------------|
| 20.00mm | Durchmesser |
| 100.00mm | Tiefe |
| 40.00mm | Senkungsdurchmes... |
| 20.00mm | Senkungtiefe |

Endbedingung
Typ:
Blind

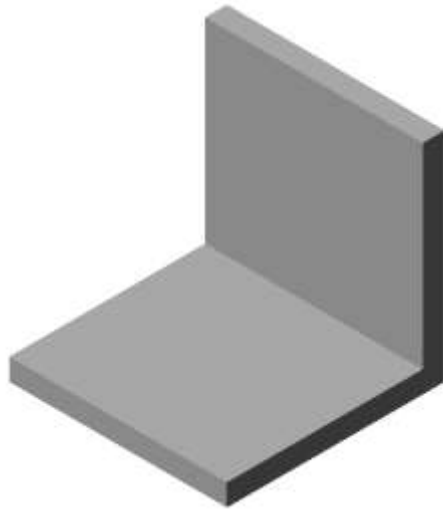
< Zurück Weiter > Abbrechen Hilfe



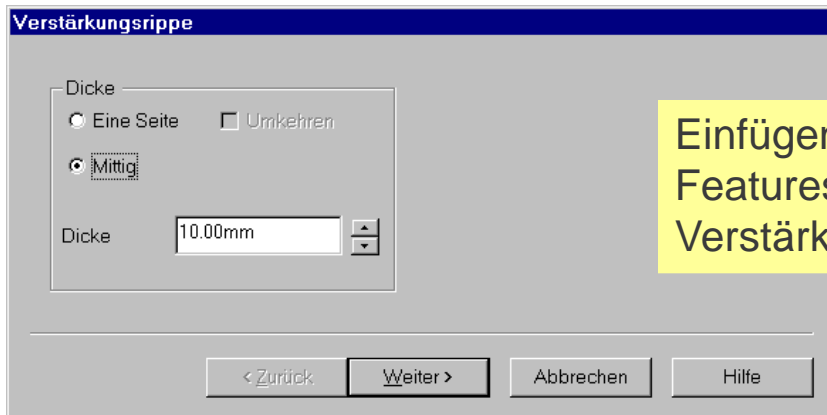
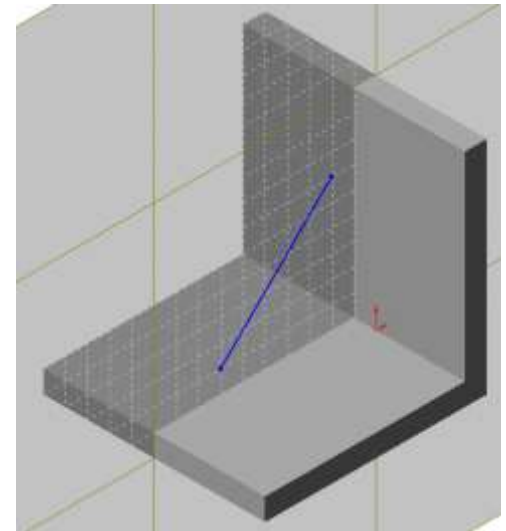
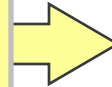
Feature *Kuppel*



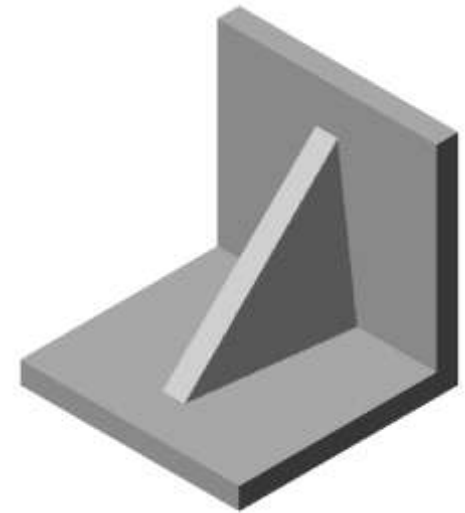
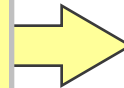
Feature Verstärkungsrippe



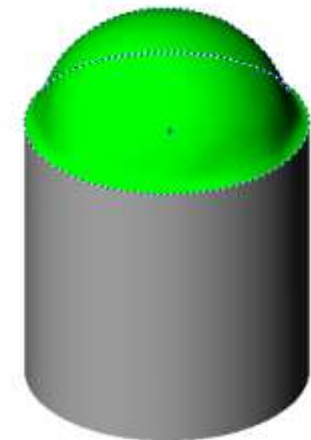
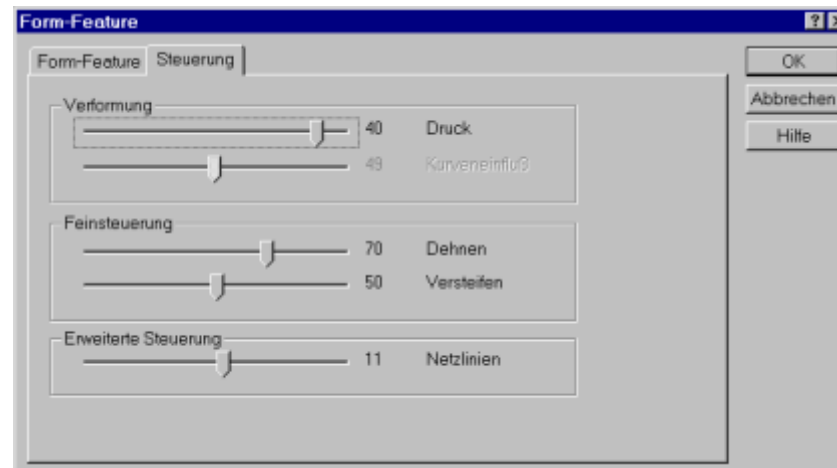
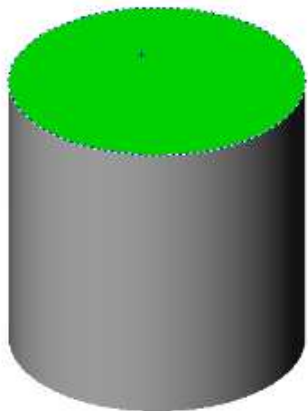
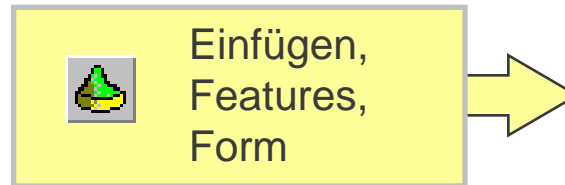
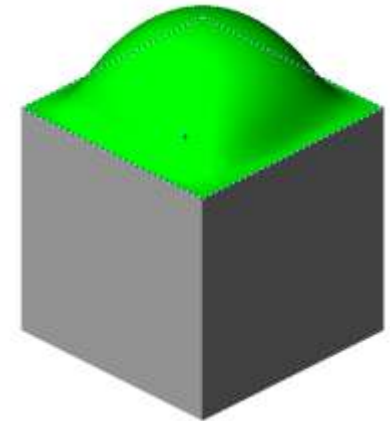
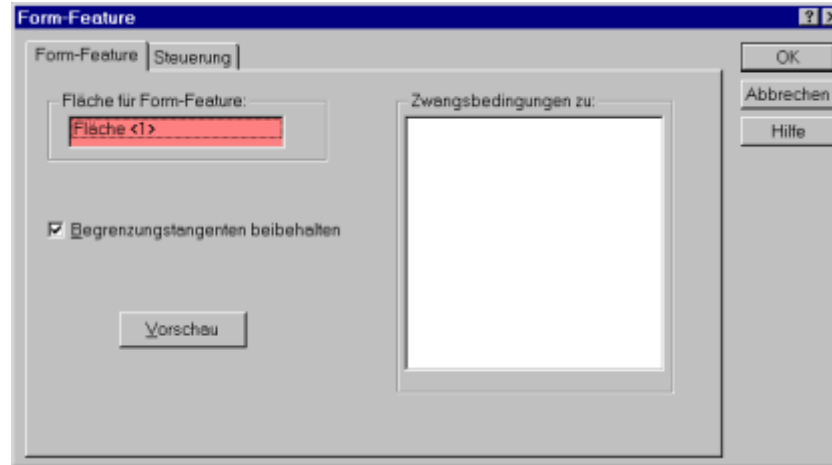
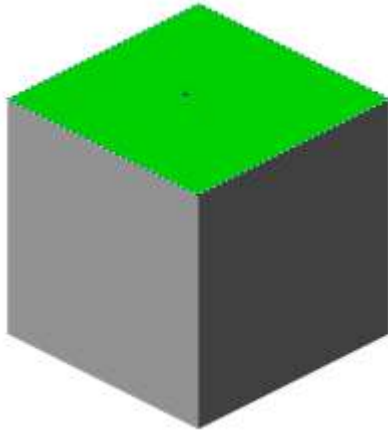
1. Neue Skizze im Bereich der Rippe einfügen



Einfügen, Features, Verstärkungsrippe



Feature Form



Bibliotheks- Feature



Ein Bibliotheks-Feature ist ein Feature oder eine Kombination von Features, die einmal erstellt werden und für häufige Wiederverwendung gespeichert werden.

Bibliotheks-Features können einzelne skizzierte Features (Basis oder Schnitt linear ausgetragen oder rotiert), Verrundungen, Bohrungen, die mit dem Bohrungsassistenten erstellt wurden, Fasen, Formschrägen, Verstärkungsrippen, Kuppeln, Gewindedarstellungen, Skizzen, Referenzebenen, Referenzachsen, Zwangsbedingungen zu anderen Skizzen und Muster enthalten.

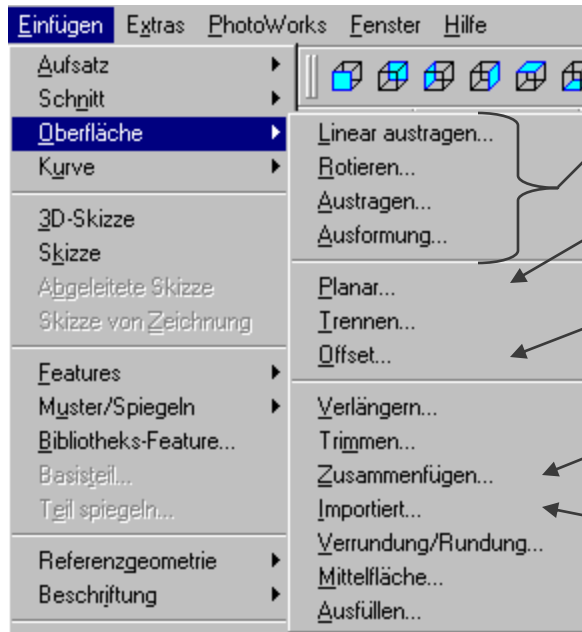
Vorgehensweise für die Erstellung eines neuen Bibliotheks-Features:

1. Erzeugen einer neuen Teildatei mit einem Basis-Feature und ein oder mehreren weiteren Features. Bemaßen der Features zur Basis, falls Bemaßungen beim Plazieren des Bibliotheks-Features im Zielteil zur Bestimmung seiner Position verwendet werden sollen.
2. Auswählen der gewünschten Feature im Feature-Manager (nicht das Basis-Feature)
3. Datei, Speichern unter "Lib Feat Part Files (*.lfp)" aus dem Dateitypmenü
4. Eingabe Namen und Ort für das Teil und Speichern

Bibliotheks-Feature zu einem Teil hinzufügen:

1. Einfügen, Bibliotheks-Feature.
2. Wählen des Bibliotheks-Feature-Teils (.sldlfp), das hinzugefügt werden soll.
3. Um das Bibliotheks-Feature auf dem Zielteil zu finden, klicken Sie auf das Referenzelement (Ebene, Kante etc.), das unter "Verpflichtend" angeführt ist. Jedes Bibliotheks-Feature verfügt über mindestens eine verpflichtende Referenz und kann auch optionale Referenzen haben (wie Elemente, die in Bemaßungen verwendet werden). Während Sie auf die Elemente in der Referenzliste klicken, wird das Element im Bibliotheks-Feature-Fenster hervorgehoben. Wählen Sie das entsprechende Element im Zielteilfenster aus. Wenn Sie auf ein passendes Element auf dem Zielteil klicken, wird das Ausrufungszeichen in der Referenzliste zu einem Häkchen.
4. Wählen Sie Elemente für Optionale Referenzen aus, wenn Sie möchten. Wenn Sie das falsche Element auswählen, doppelklicken Sie auf das Element in der Referenzliste, um seine Auswahl aufzuheben, oder klicken Sie auf "Alles abwählen".
5. Mit O.K. wird das Feature eingefügt.
6. Durch Auswahl mit r.MT im Feature-Baum kann das Bibliotheks-Feature zu einem Standard-Feature aufgelöst werden.

Elemente der Menüpunkte *Oberfläche* und *Kurve*



Erzeugen einer Oberfläche entsprechend der Erzeugung von Volumenkörpern

Erzeugen einer planaren Oberfläche über ein Skizzenprofil oder durch in einer Ebene liegende Körperkanten

Erzeugen einer Oberfläche als Offset einer Referenz(ober)fläche

Zusammenfügen von Oberflächen mit gemeinsamen Schnittkanten

Einfügen einer Oberfläche z.B. über eine IGES- (*.igs), ACIS- (*.sat) oder VRML-Datei (*.wrl)



Erzeugen einer Kurve aus Skizzenelementen und/oder Körperkanten (z.B. zur Verwendung als Austragungsbahn)

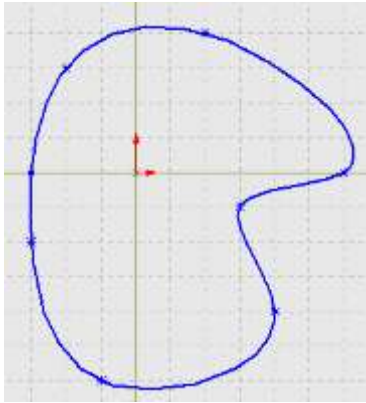
Erzeugen einer Spirale aus einer Kreisskizze mit Optionen für Steigung, Umdrehungen, etc.

Trennen einer Fläche durch eine offene oder geschlossene Skizze

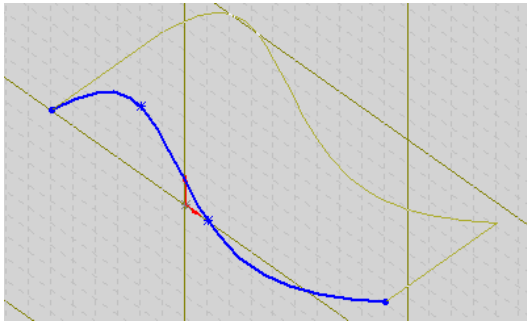
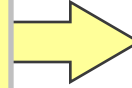
Erzeugen einer Kurve aus Skizzenpunkten und/oder Körperpunkten

Erzeugen einer Kurve durch Eingabe oder Einlesen aus einer Datei

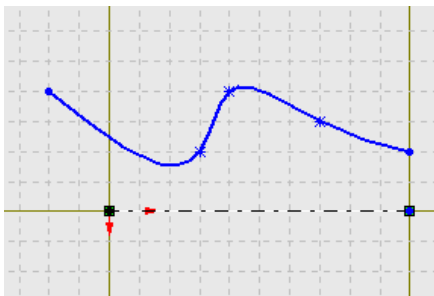
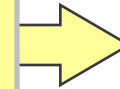
Erzeugen von Oberflächen



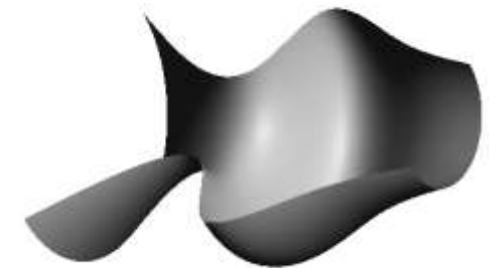
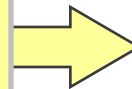
Einfügen,
Oberfläche,
Planare Oberfläche



Einfügen,
Oberfläche,
linear austragen



Einfügen,
Oberfläche,
Rotieren

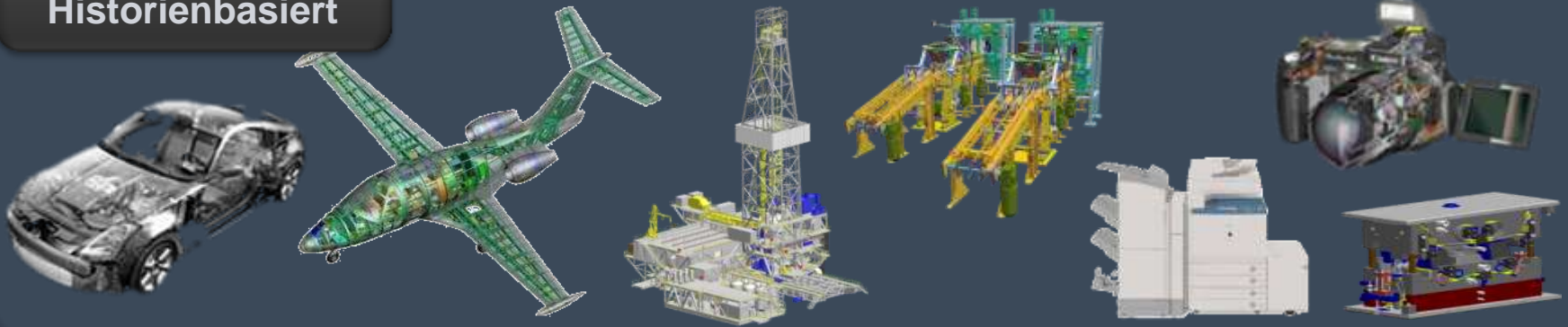


Parametrik



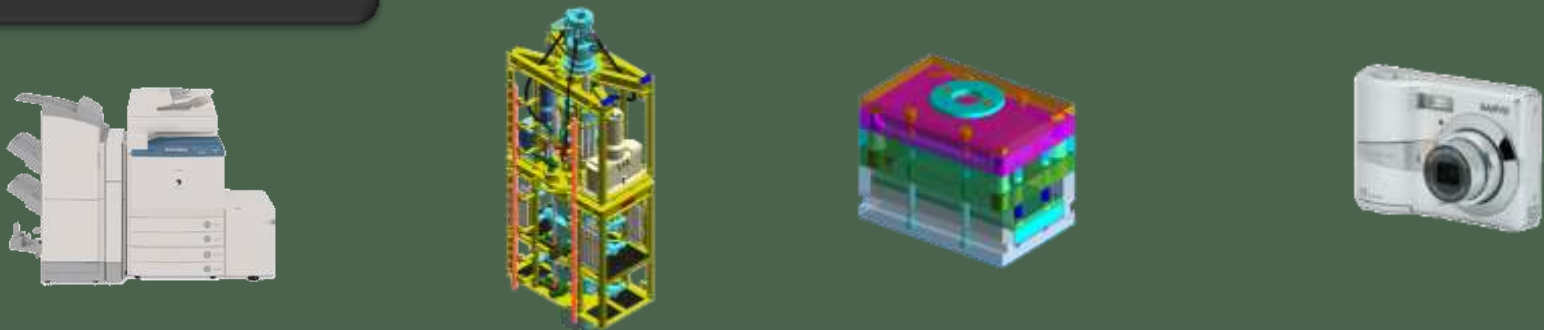
unterschiedliche Marktanforderungen ...

Historienbasiert



Families / Design Automation / Highly Engineered / Template Driven

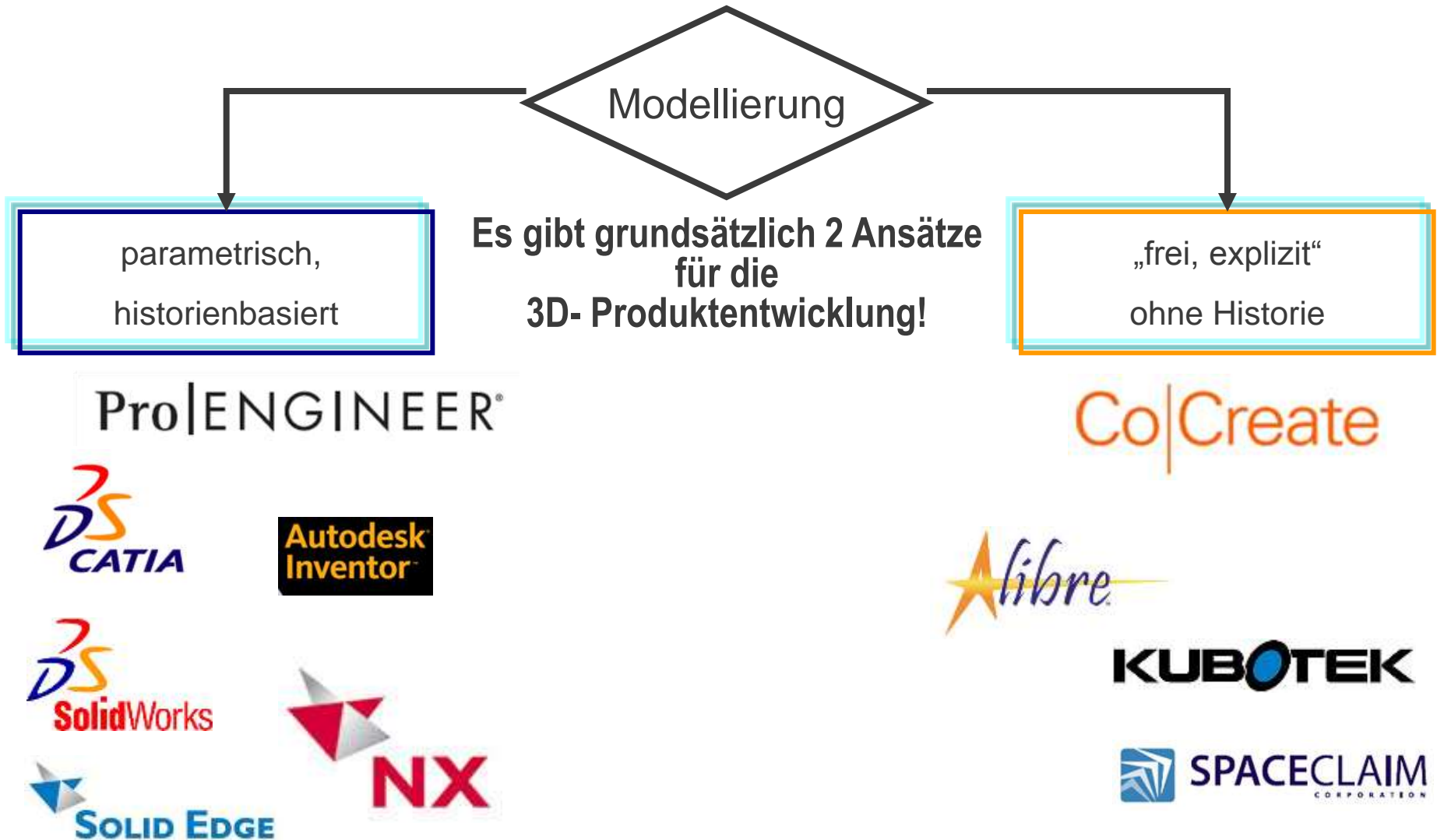
Historienfreie



Lightweight Designs / small changes / Short Lifecycle / One-off

Quelle: SIEMENS

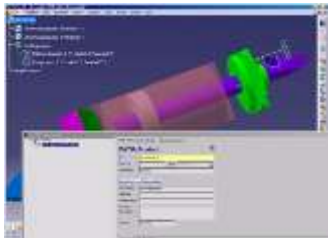
Arbeitsweisen im 3D-CAD: zwei generelle Verfahren



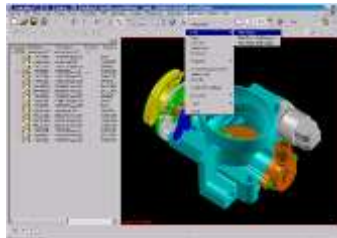
Parametrische CAD-Systeme

- Die Mehrzahl der modernen 3D-CAD Systeme sind so genannte „Parametrische Systeme“.
- Durch parametrisches Konstruieren wird vor allem die Erstellung von Varianten stark vereinfacht.

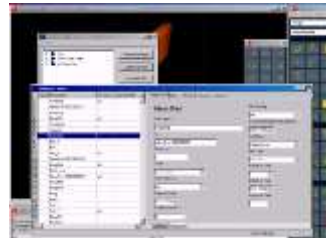
Catia



Unigraphics



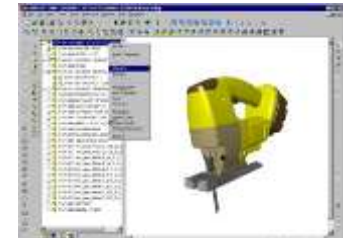
I-DEAS



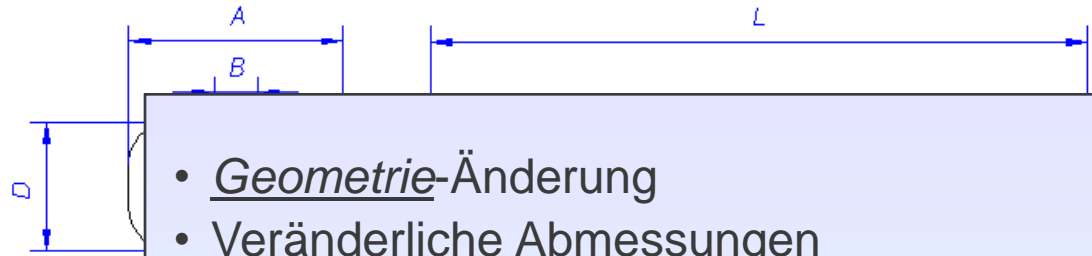
SolidEdge



SolidWorks

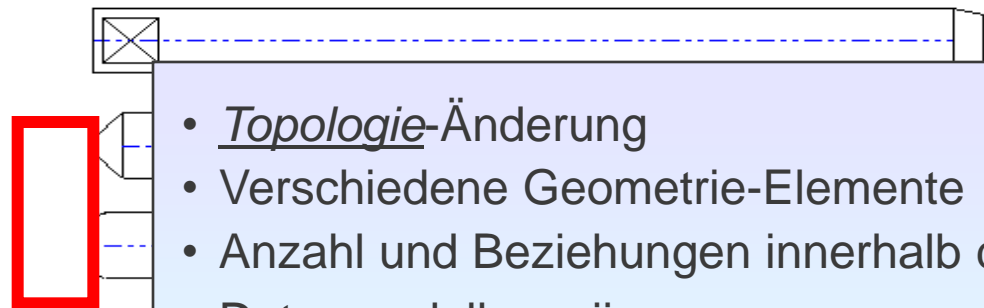


Formvariante



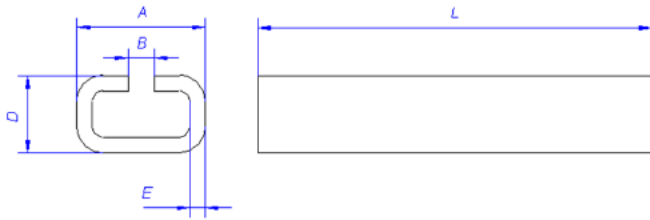
- Geometrie-Änderung
- Veränderliche Abmessungen
- Bemaßungen variabel
- Struktur des Datenmodells konstant

Gestaltvariante



- Topologie-Änderung
- Verschiedene Geometrie-Elemente
- Anzahl und Beziehungen innerhalb des Datenmodells variieren.

Formvariante



- Geometrie-Änderung
- Veränderliche Abmessungen
- Bemaßungen variabel
- Struktur des Datenmodells konstant

Gestaltvariante

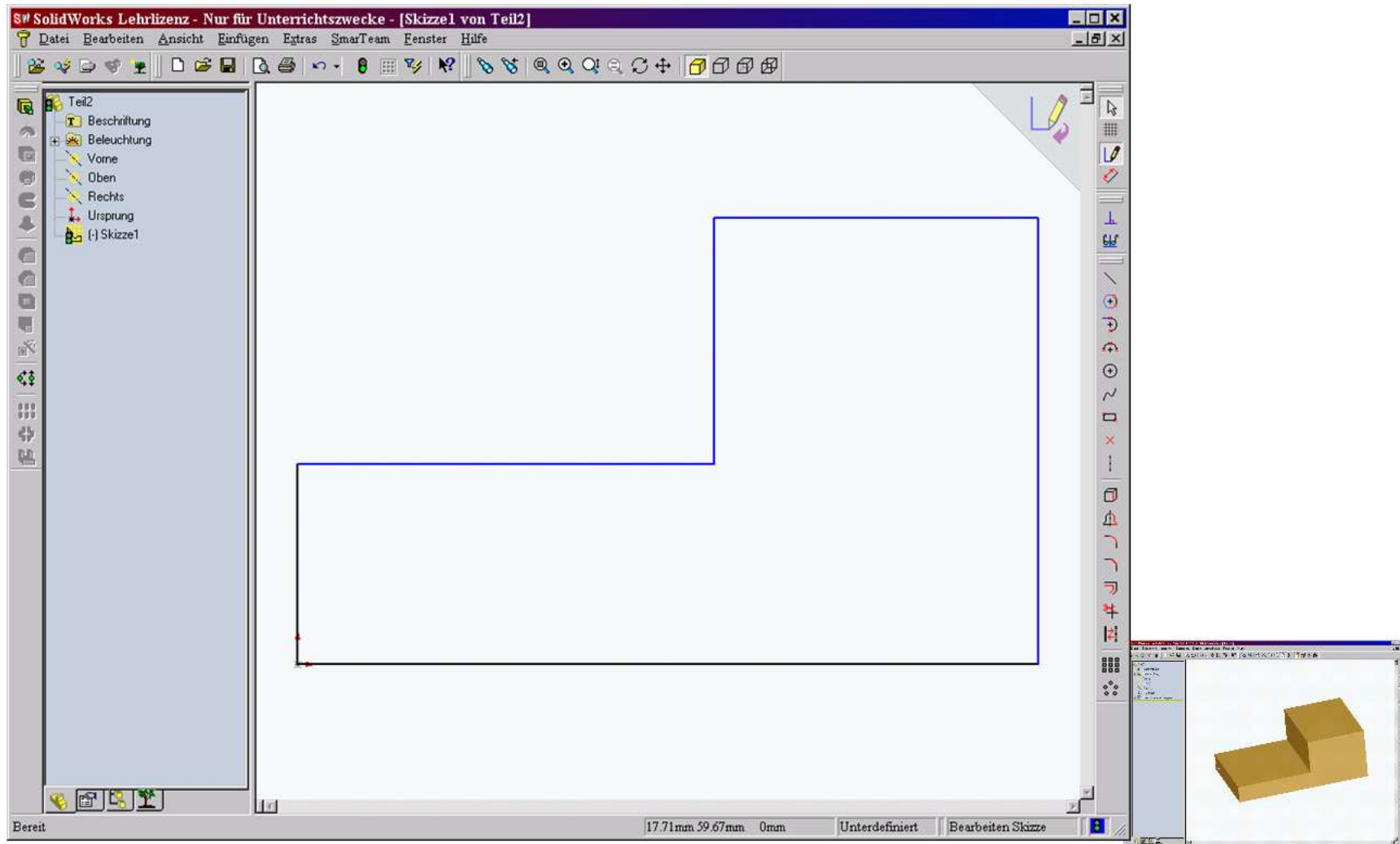


- Topologie-Änderung
- Verschiedene Geometrie-Elemente
- Anzahl und Beziehungen innerhalb des Datenmodells variieren.

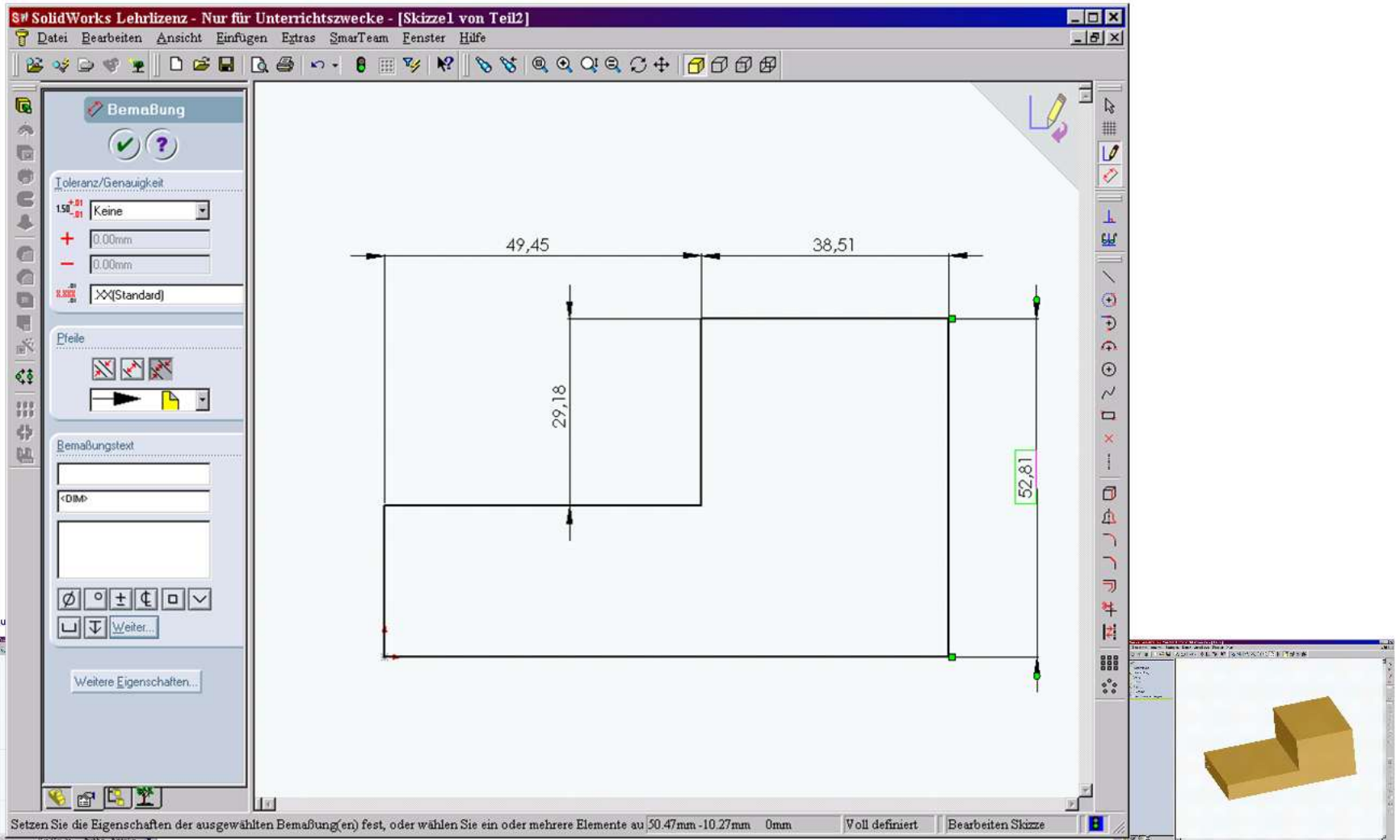
Die Parametrik-Funktionalität eines CAD-Systems ermöglicht die Verwendung variabler Größen (“Parameter“) für die Eigenschaften und Abhängigkeiten in und zwischen Produktmodellen.

Das CAD-System muss dabei das Produktmodell aktualisieren und die Konsistenz des Modells hinsichtlich systeminterner Regeln prüfen und sicherstellen

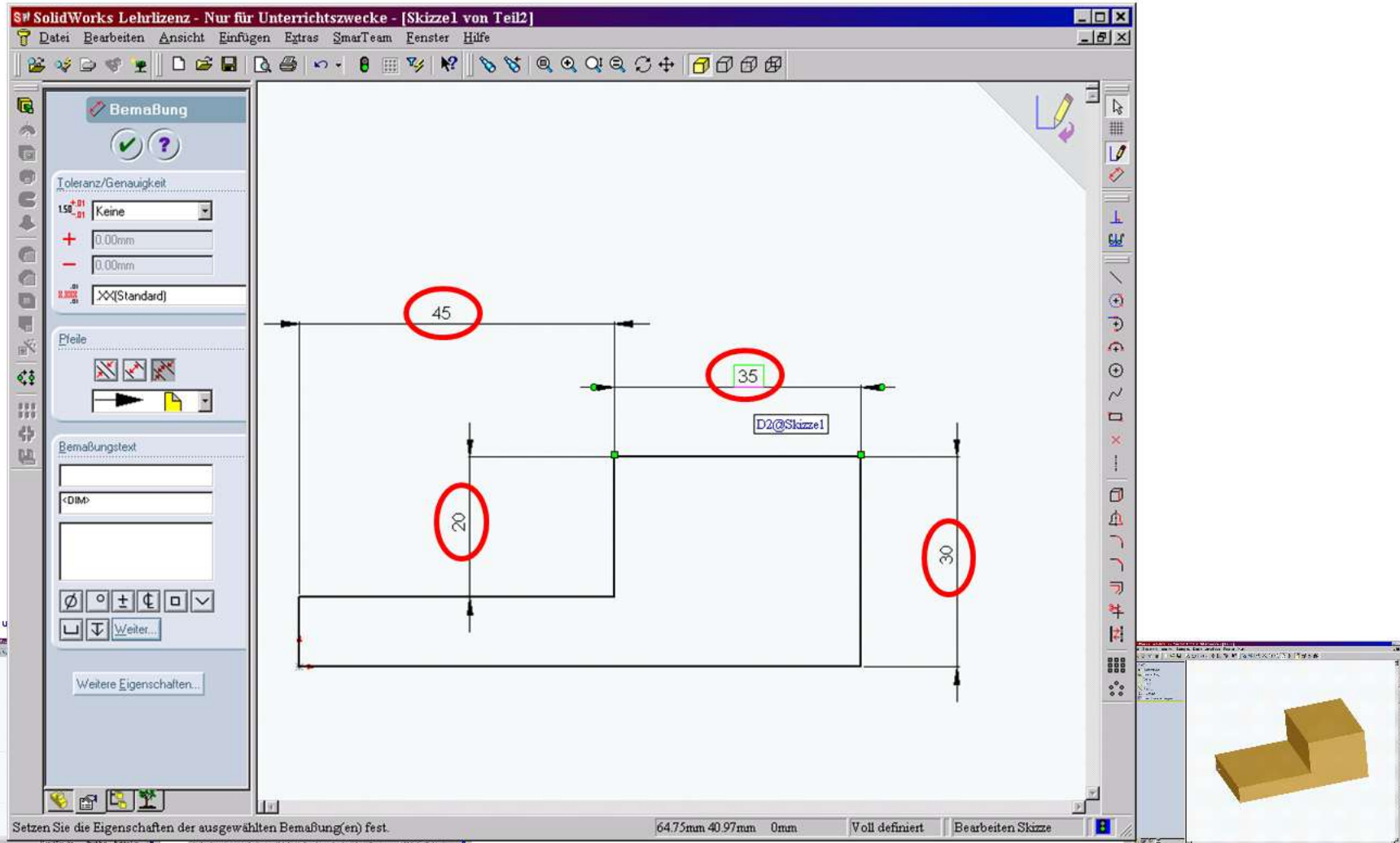
Erstellung einer unmaßstäblichen Skizze



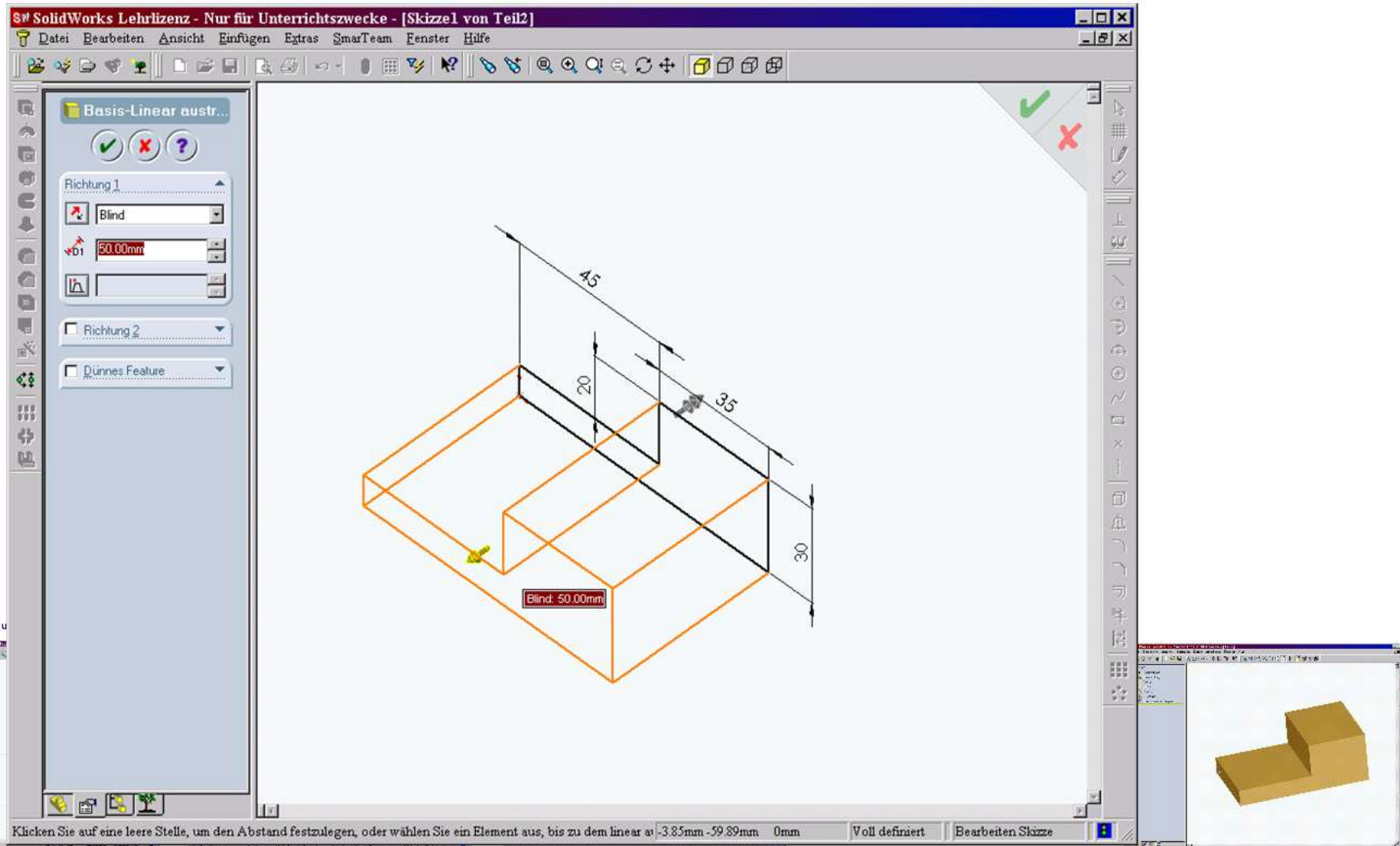
Einfügen der Bemaßung



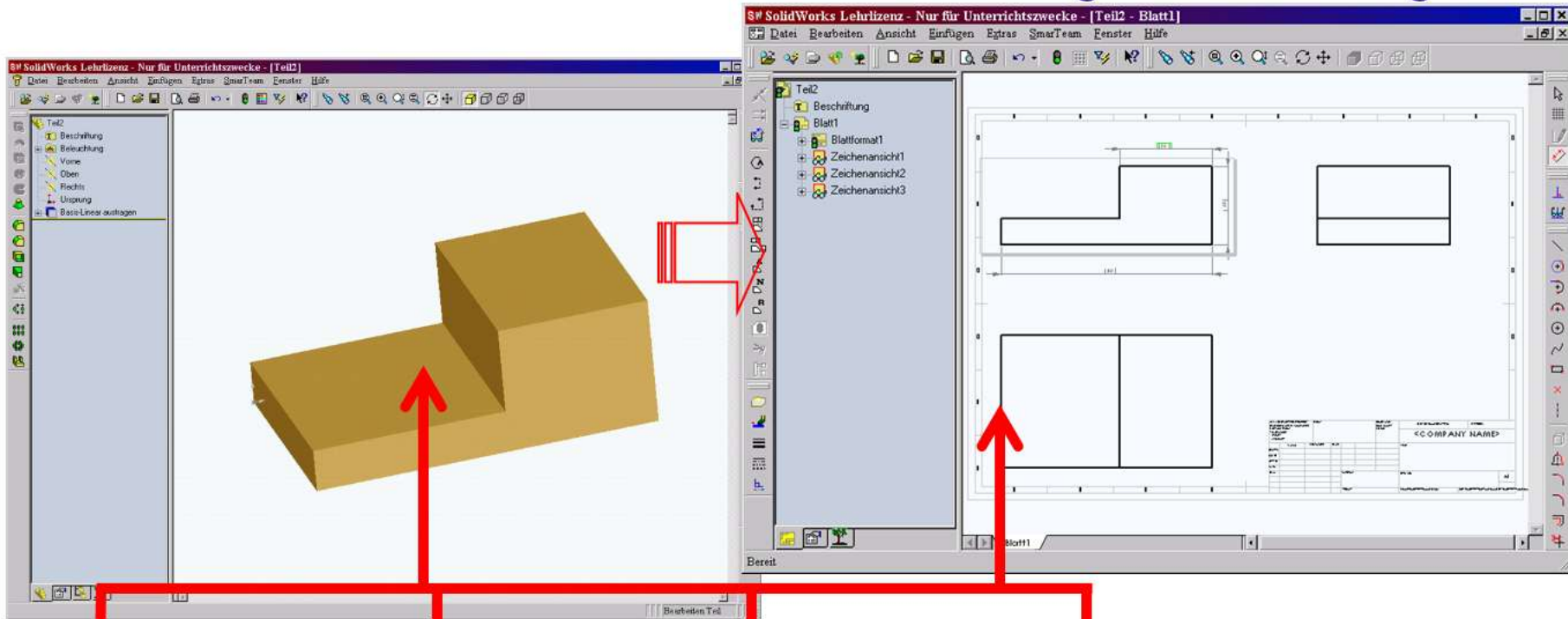
Überschreiben der Maße



Volumen erzeugen durch Feature „Extrudieren“



Ableitung einer Zeichnung

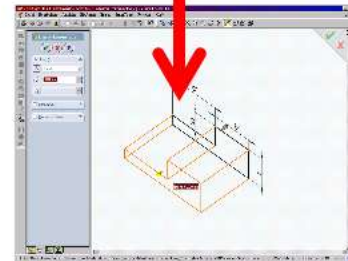
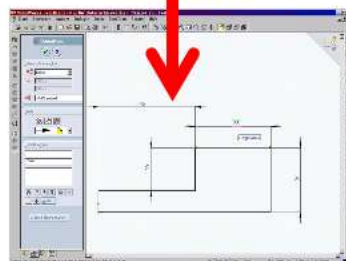
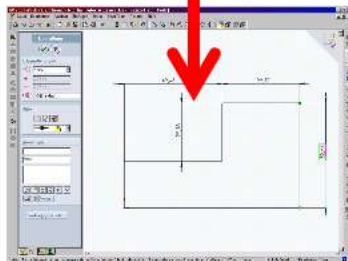


Erstellung einer ungestrichelten Skizze

Einfügen der Dimensionierung

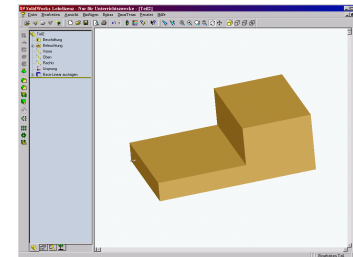
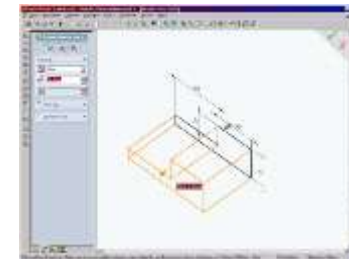
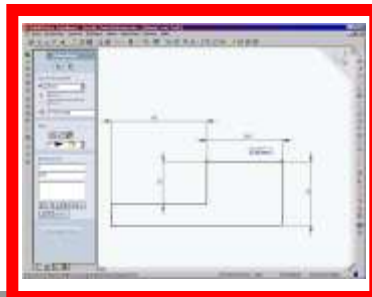
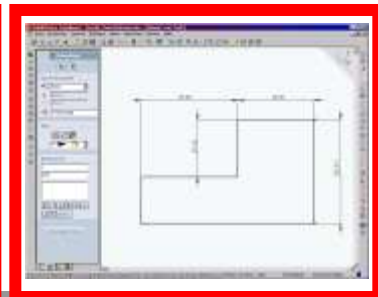
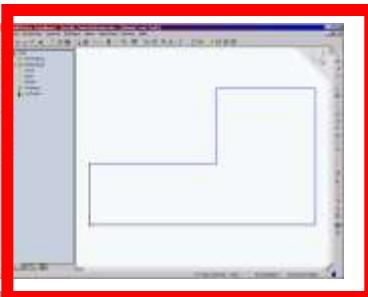
Überschreiben der Maße

Volumen erzeugen durch Feature „Extrudieren“



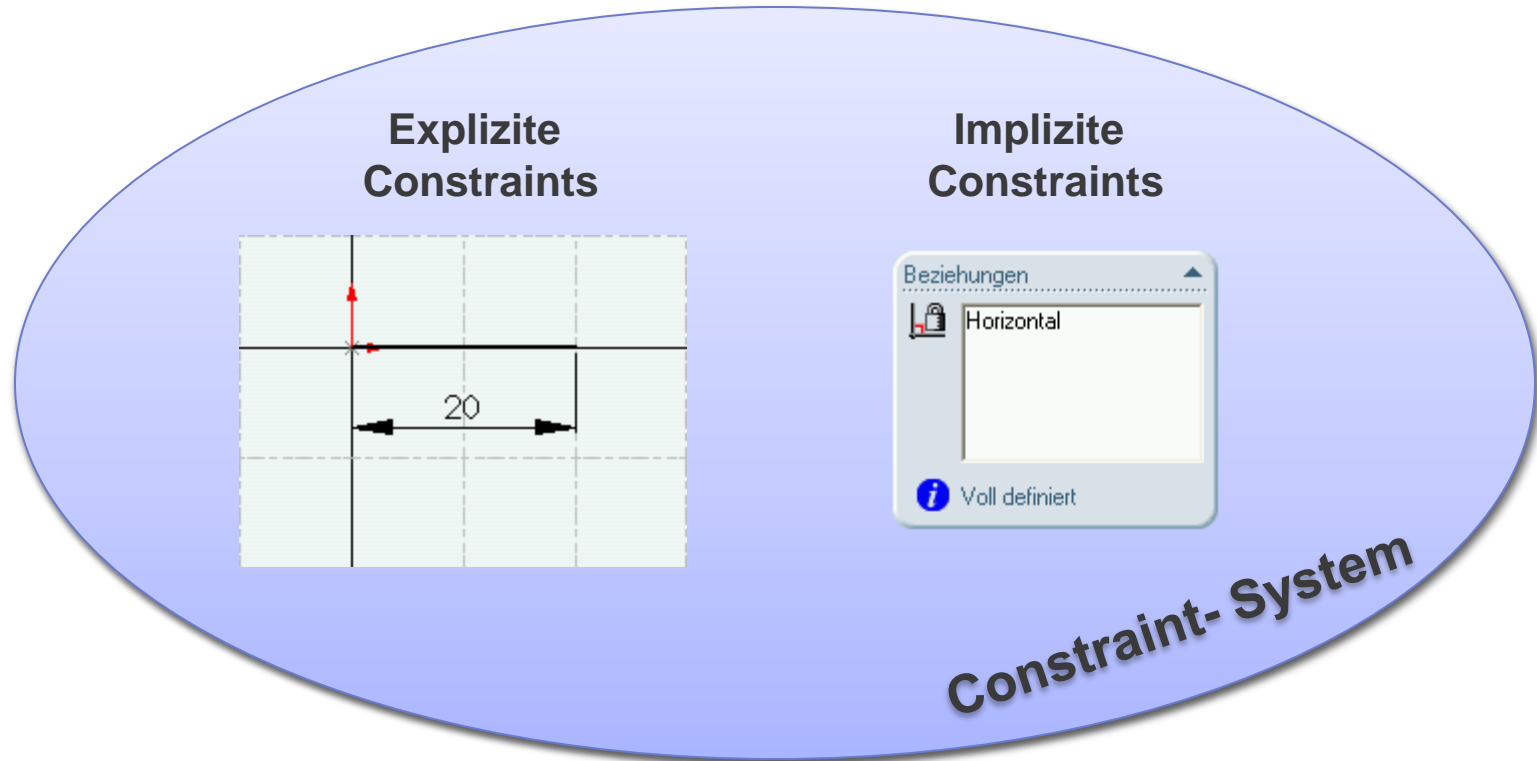
Grundlagen der Parametrik

- Der Aufbau der Geometrie im Entwicklungsprojekt kann zunächst skizzenhaft erfolgen.
- Durch Anbringen von Bemaßungen und Überschreiben der Werte erfolgt die Detaillierung der Geometrie.
- Das CAD-System ist in der Lage, die bereits erstellte Geometrie durch die Veränderung der Parameter zu bearbeiten.
- Die Bemaßungen entsprechen Randbedingungen an die Geometrie.



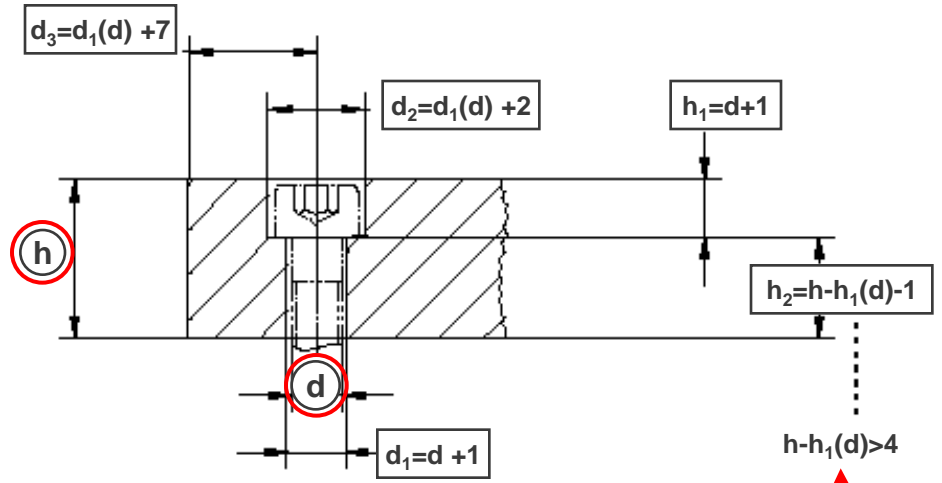
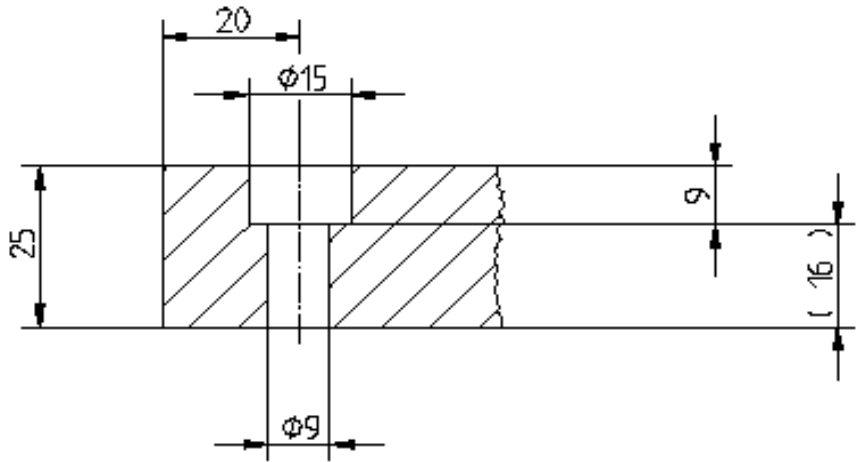
Parametrische Abhängigkeiten

Randbedingungen sind vereinfacht in zwei Bereiche aufteilbar:



Die Gesamtheit der Randbedingungen zur Abbildung einer Konstruktionsabsicht bildet ein Randbedingungssystem / Constraint-System.

Explizite Randbedingungen / Constraints: Beispiel



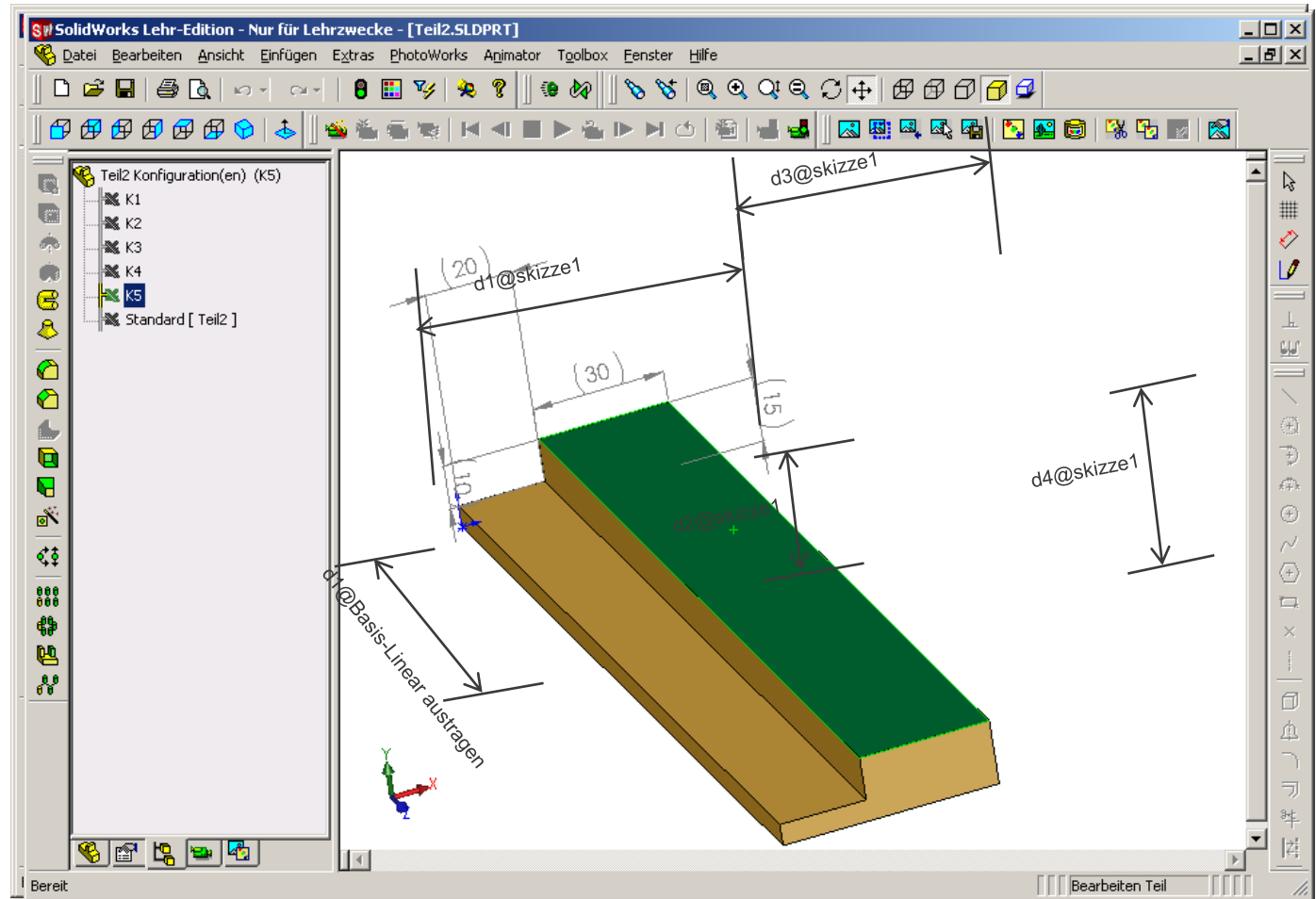
- - unabhängige Variable (Eingangsparameter)
- - abhängige Variable (gesteuerter Parameter)
- zusätzliche Randbedingungen ("Constraints")

Parameter-Tabellen

In Tabellen können Werte für Parameter eingegeben werden.

Die Zeilen der Tabelle entsprechen den verschiedenen Konfigurationen des Modells

Das CAD-System erstellt diese Konfigurationen automatisch



- Diskrete Werteingabe

- Zuweisung eines Wertes für einen Parameter, z.B. $p1=1$
- Zuweisung einer Längen- oder Winkelangabe über Bemaßung in Skizzen

- Gleichungsangabe

- Zuweisung eines Parameterwertes über andere Parameter: $a=2*b$

- Verwenden von Wertetabellen

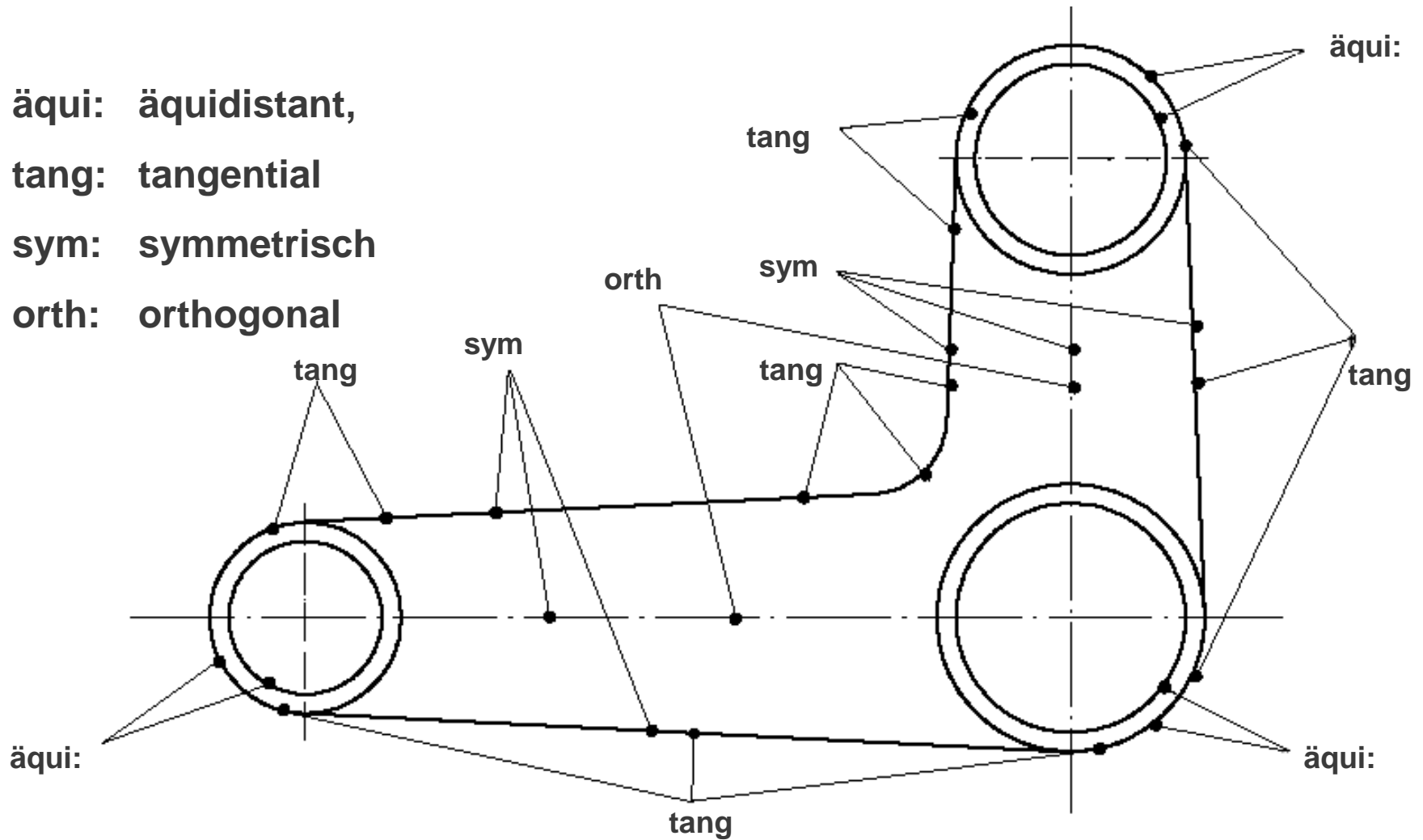
- Erstellen von Konfigurationen über Parametertabellen

- Verwenden von logischen Ausdrücken

- Steuerung von Formelementen über logische Abfragen

Implizite Randbedingungen / Constraints: Beispiel

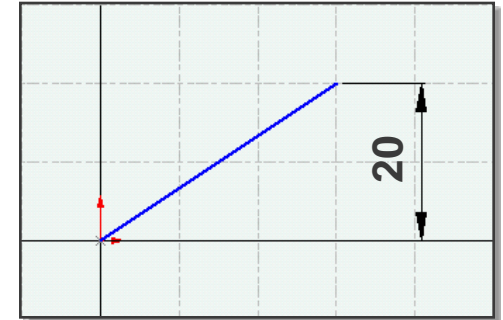
äqui: äquidistant,
tang: tangential
sym: symmetrisch
orth: orthogonal



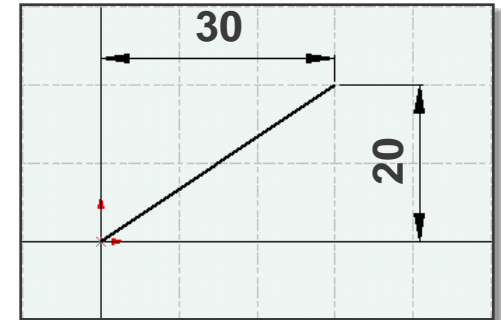
Bestimmtheit des Constraint- Systems

Ein Constraint- System ist

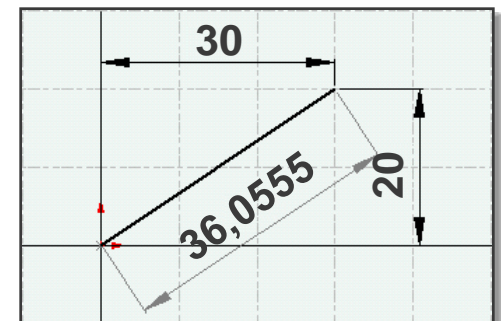
unterbestimmt, wenn keine eindeutige Lösung oder eine unendlich große Anzahl von Lösungen existiert.



vollständig bestimmt, wenn genau eine eindeutige Lösung existiert.



überbestimmt, wenn zu viele Constraints existieren.



Beispiel: Erzeugen einer Welle mit unterschiedlichen Wellenenden

Variante 0: unbearbeitet



Variante 1: Fase



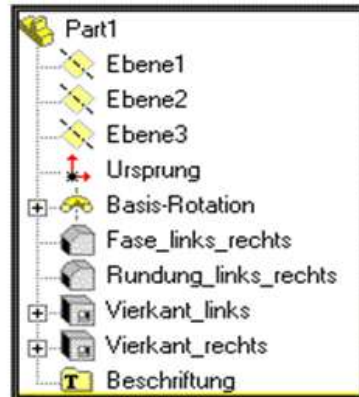
Variante 2: Rundung



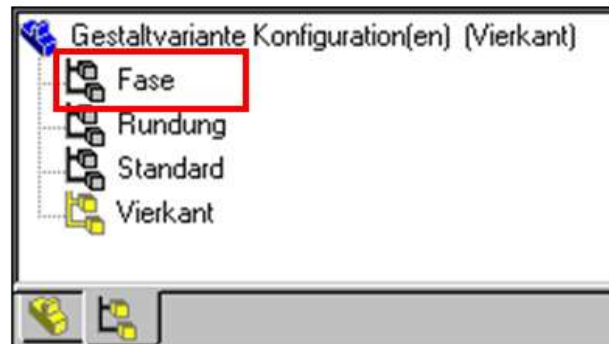
Variante 3: Vierkant



Lösung: Erstellung der Varianten mit Hilfe von Konfigurationen



| | A | B | C | D | E |
|---|----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | | \$STATUS@Fase links rechts | \$STATUS@Rundung links rechts | \$STATUS@Vierkant links | \$STATUS@Vierkant rechts |
| 2 | Fase | Nicht unterdrückt | U | U | U |
| 3 | Rundung | U | Nicht unterdrückt | U | U |
| 4 | Vierkant | U | U | Nicht unterdrückt | Nicht unterdrückt |
| 5 | | | | | |



Lösung: Erstellung der Varianten mit Hilfe von Konfigurationen

Variante 0: unbearbeitet



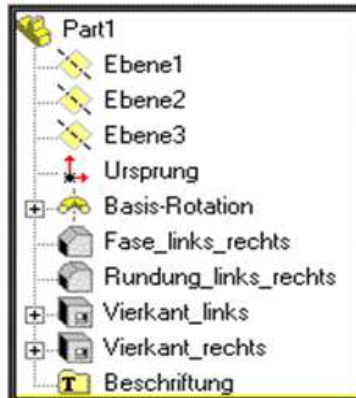
Variante 1: Fase



Variante 2: Rundung



Variante 3: Vierkant



| | A | B | C | D | E |
|---|----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | | \$STATUS@Fase_links_rechts | \$STATUS@Rundung_links_rechts | \$STATUS@Vierkant_links | \$STATUS@Vierkant_rechts |
| 2 | Fase | Nicht unterdrückt | U | U | U |
| 3 | Rundung | U | Nicht unterdrückt | U | U |
| 4 | Vierkant | U | U | Nicht unterdrückt | Nicht unterdrückt |
| 5 | | | | | |



Eine Tabelle kann auch zusätzliche Spalten oder Reihen für Informationen enthalten (Hinweise, Zwischenrechnungen etc.).

Der Titel zur Bestimmung der Anwender-Anmerkungen verwendet die folgende Syntax:

`$USER_NOTES`

Zu beachten:

Dieses Schlüsselwort im Titel einer jeden Spalte oder Reihe, bewirkt, daß die Spalte nicht evaluiert wird.

Die Anzahl von Reihen und Spalten mit Kommentaren ist beliebig.

Es darf keine Reihen oder Spalten mit leeren Titeln in der Mitte der Tabelle geben.

Unterdrücken von Features (1)

Der Spaltenkopf zur Festlegung des Unterdrückungsstatus verwendet die folgende Syntax:

`$STATUS@Feature`

“Feature“ ist der Name des zu unterdrückenden Features im Feature-Baum. Beispiel: “\$STATUS@Aufsatz-Linear austragen3 “

Der Eintrag in der jeweiligen Zelle der einzelnen Konfiguration kann dann lauten: “Unterdrückt“ oder “U“ bzw. “Nicht unterdrückt“ oder “NI“.

Wenn eine Zelle leer gelassen wird, ist der Status für das gewählte Feature der entsprechenden Konfiguration “Nicht unterdrückt“.

Durch diese Funktion wird es möglich, eine Gestaltvariante aufzubauen.

Unterdrücken von Features (2)

Zur Festlegung des Unterdrückungsstatus kann auch folgende Syntax verwendet werden: Eintrag in den Kopf einer Spalte:

Featurename

“Featurename“ ist der Name des zu unterdrückenden Features im Feature-Baum. Beispiel: “Aufsatz-Linear austragen3 “

Ist ein Eintrag (beliebige Zeichenkette) in der jeweiligen Zelle der einzelnen Konfiguration vorhanden, so ist das Feature nicht unterdrückt. Ist die Zelle leer, ist das Feature unterdrückt.

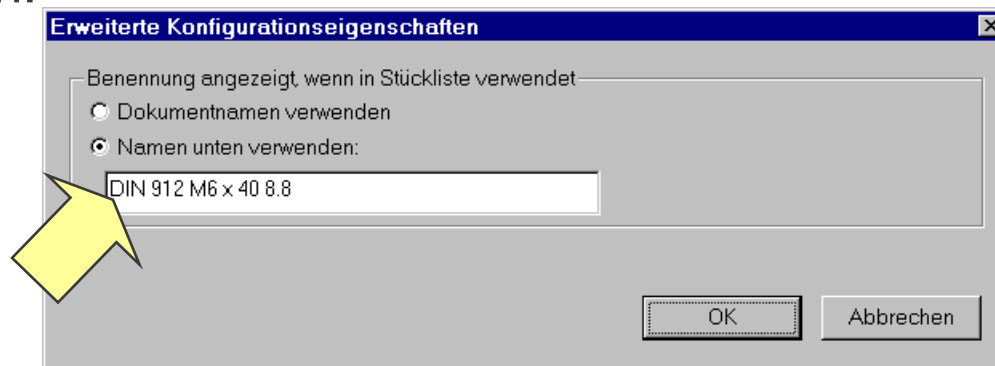
Benennung der Konfiguration

Der Spaltenkopf zur Festlegung des Namens der Konfiguration in der Stückliste verwendet die folgende Syntax:

\$BENENNUNG

Der Eintrag in der jeweiligen Zelle der einzelnen Konfiguration wird dann statt des Konfigurationsnamens (Spalte A) in die Stückliste übertragen.

Ist eine Zelle leer, so wird der Konfigurationsname in die Stückliste eingetragen. Das gleiche Ergebnis ist auch über die Auswahl einer Konfiguration im Konfigurationsmanager mit der r. MT, *Eigenschaften*, *Erweitert* möglich:

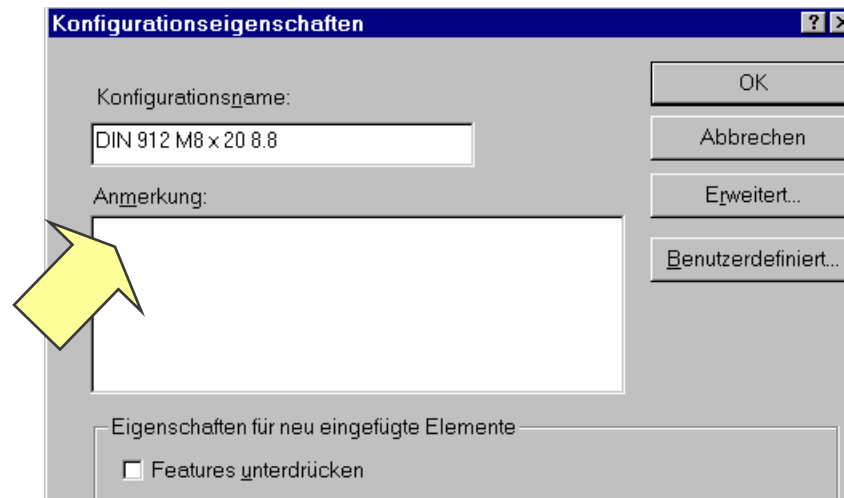


Kommentare

Der Spaltenkopf zur Festlegung eines Kommentars zu einer Konfiguration hat folgende Syntax:

\$KOMMENTAR

Kommentare können auch im Konfigurationsmanger, r. Mt auf eine Konfiguration, *Eigenschaften* eingegeben werden:



Benutzerdefinierte Eigenschaften

Der Spaltenkopf zur Bestimmung einer benutzerdefinierten Eigenschaft verwendet die folgende Syntax:

```
$PRP@Eigenschaft
```

“Eigenschaft“ ist der Name einer benutzerdefinierten Eigenschaft. Eigenschaften können in der Registerkarte *konfigurationsspezifisch* im Dialogfeld *Datei-Info* ausgewählt werden, oder es können neue benutzerdefinierte Eigenschaften hinzugefügt werden. Der Titel “\$prp@Erstellt“ zum Beispiel bewirkt eine Steuerung der benutzerdefinierten Eigenschaft “Erstellt“ für jede Konfiguration. In die Tabellenzellen wird dann der Wert für jede Konfiguration eingetragen. Ist eine Zelle leer, so ist die Eigenschaft für die Konfiguration nicht definiert. Beispiel Zelleneintrag für “Erstellt“: “Durch Meyer“. Der Eintrag dieser Zelle kann in die Stückliste übernommen werden. Hierfür muß die Basis-Stückliste bomtemp.xls im Verzeichnis ...SolidWorks\lang\german um die entsprechende Spalte erweitert werden. Wichtig ist, daß die Eigenschaft in der Kopfzeile keine Freizeichen aufweist.

Zusammenfassung der Tabelleneinträge

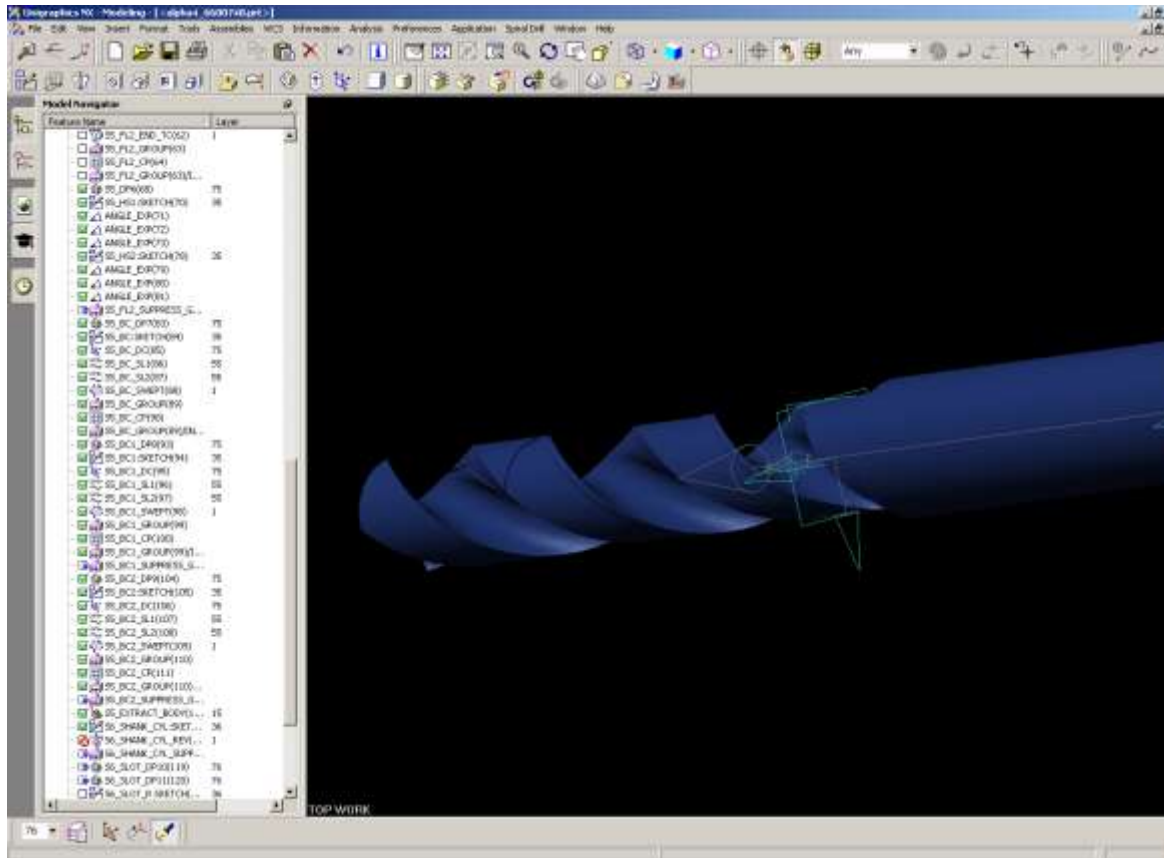
| Parametersyntax (Zelle der Kopfzeile) | Gültige Werte (Körperzelle) | Standard, wenn kein Wert angegeben ist |
|--|---|---|
| \$KOMMENTAR | beliebige Textzeichenkette | leer |
| \$BENENNUNG | beliebige Textzeichenkette | Konfigurationsname |
| \$STATUS@ <i>Featurename</i> | Unterdrückt, U Nicht unterdrückt, NI | Nicht unterdrückt |
| <i>Bemaßung</i> @ <i>Feature</i> | beliebiger, gültiger Dezimal- wert für die Bemaßung | Null (Fehler, wenn kein gültiger Wert) |
| \$PRP@ <i>Eigenschaft</i> | beliebige Zeichenkette | Eigenschaft ist nicht definiert |
| \$USER_NOTES | beliebige Textzeichenkette | nicht ausgewertet |
| <i>Featurename</i> | leer (unterdrückt) beliebige Zeichenkette (nicht unterdr.) | Unterdrückt |

kursiver Text: vom Benutzer direkt oder indirekt festlegbar, Standard: fester Befehl

Beispiel: Spiralbohrer

1048 explizite Randbedingungen in Modell

263 Steuernde Parameter

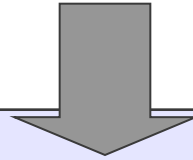


Beispiel: Verpackungsmaschine

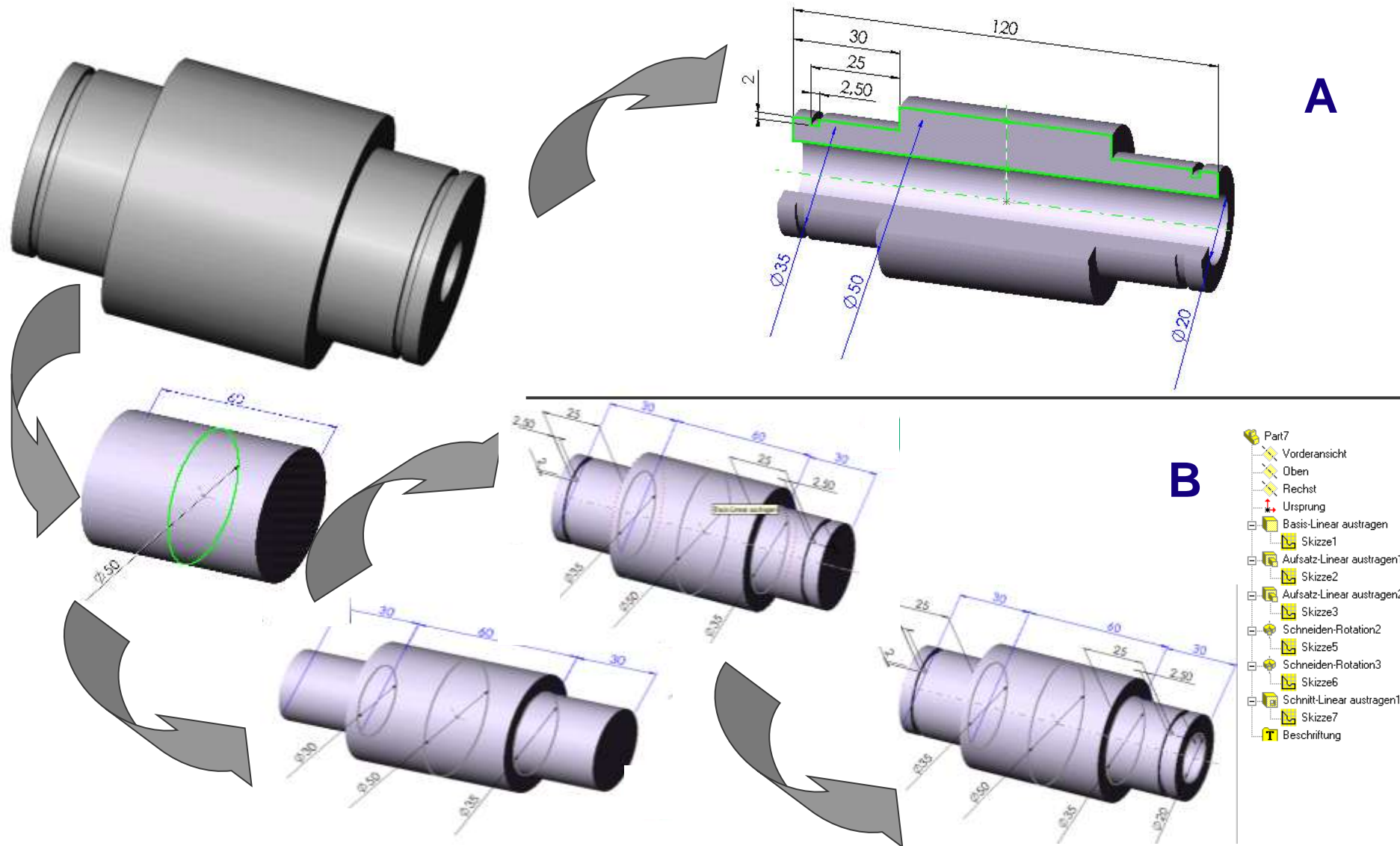
- ◆ Bis zu 20.000 Komponenten
- ◆ Komplizierte Kinematik
- ◆ Normteile, Blechteile

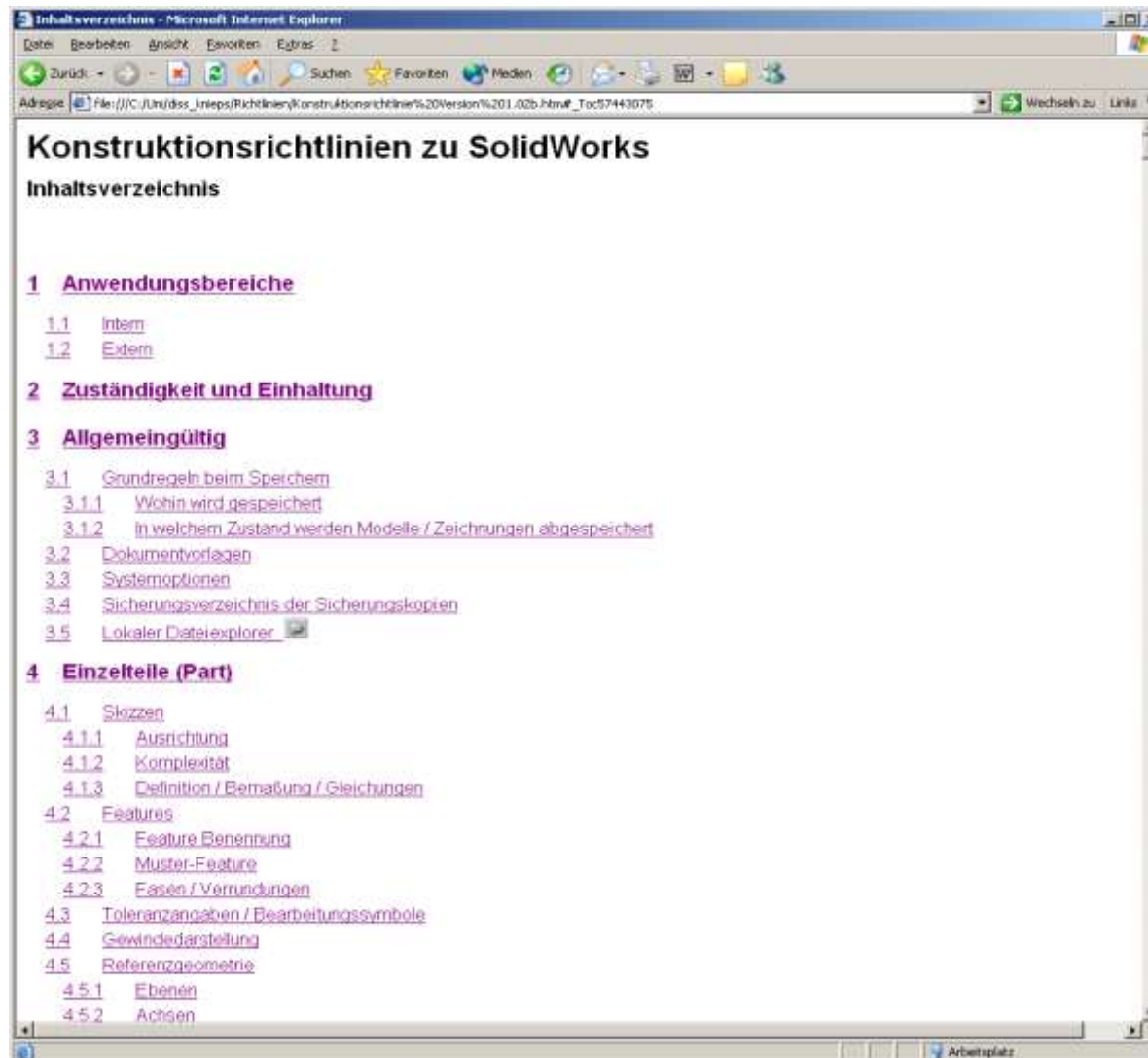


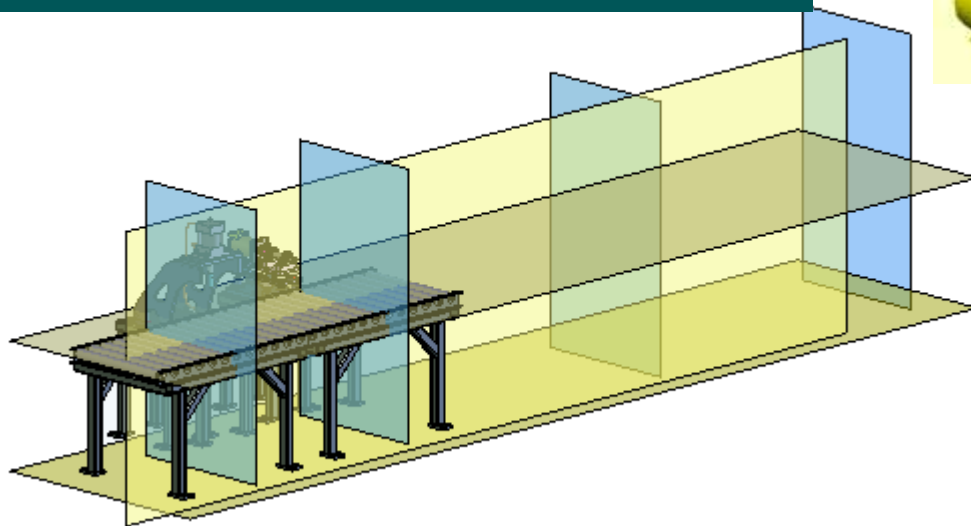
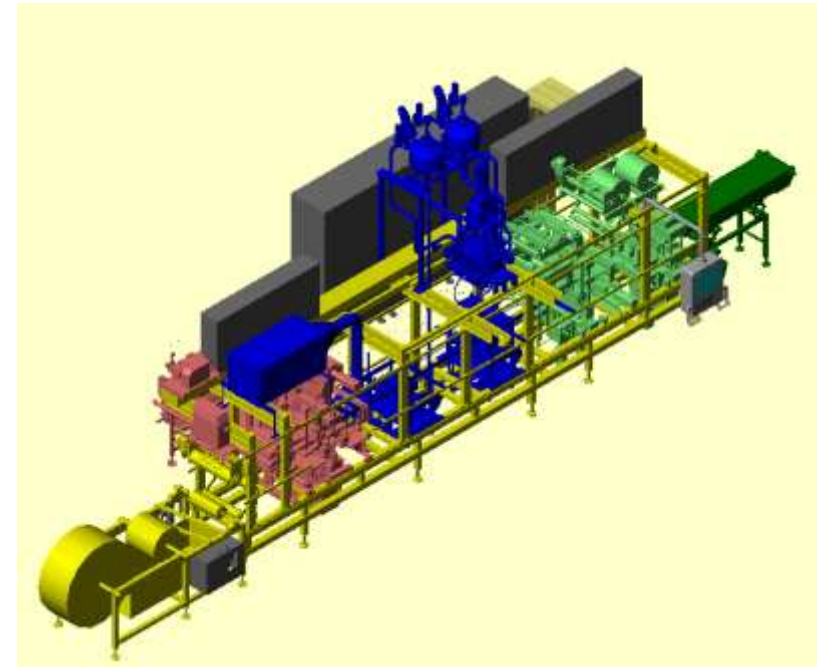
- Die CAD-Systeme werden komplexer
- Durch Parametrisierung wird die Konstruktionsabsicht abgebildet
- CAD-Modelle enthalten mehr Informationen



- Konstruktionsmethodik / Konstruktionsregeln
- Integration von CAD in die gesamte Prozesskette







Layout-Vorlagen
Stationen sind kombinierbar
Concurrent Engineering

- **Durch Parametrisierung erhalten Bauteile eine implizite Programmierung. Es entsteht eine Instanz mit Größen, die weiterhin variabel bleiben können. Das vorhandene Randbedingungssystem wird sequentiell gelöst.**

- **Variantenprogramme werden explizit programmiert. Als Ergebnis einer CAD-Variantenkonstruktion entsteht mit Hilfe eines Variantenprogrammes (interaktives Festlegen der variablen Größen) sequentiell ein Modell mit festen Werten.**



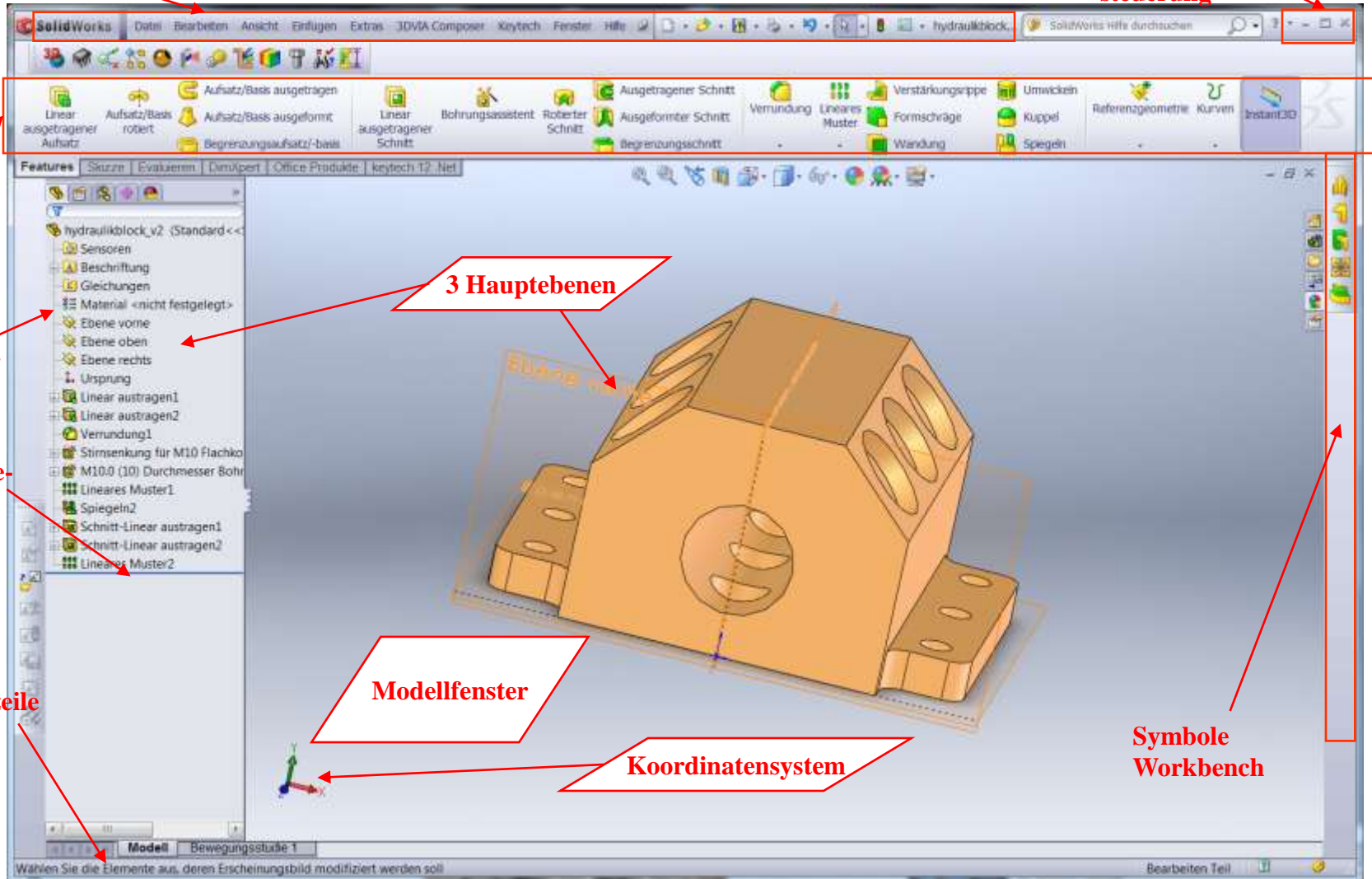
Arbeitsweise mit SolidWorks




Der SolidWorks-Bildschirm

Menü-
leiste

Windows
Standard-
steuerung



 **Selektieren**, von Elementen. Durch gleichzeitiges Drücken der STRG-Taste können mehrere Elemente gewählt werden. Bei gedrückter Taste kann eine Auswahlbox aufgespannt werden.

 **Rotieren**, der Bildschirmansicht.

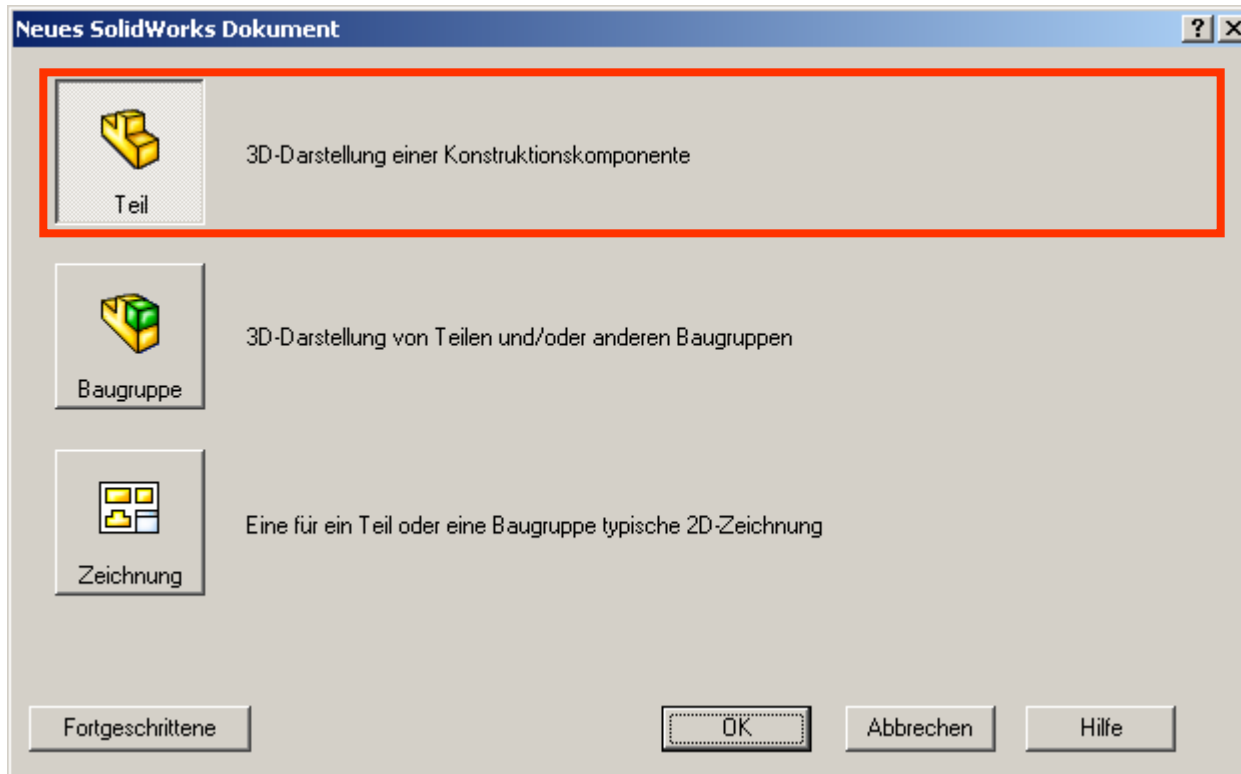
 **Kontextmenu**. Abhängig von der Position des Cursors wird ein kontextsensitives Menu aufgerufen.

STRG +  **Verschieben**, der Bildschirmansicht.

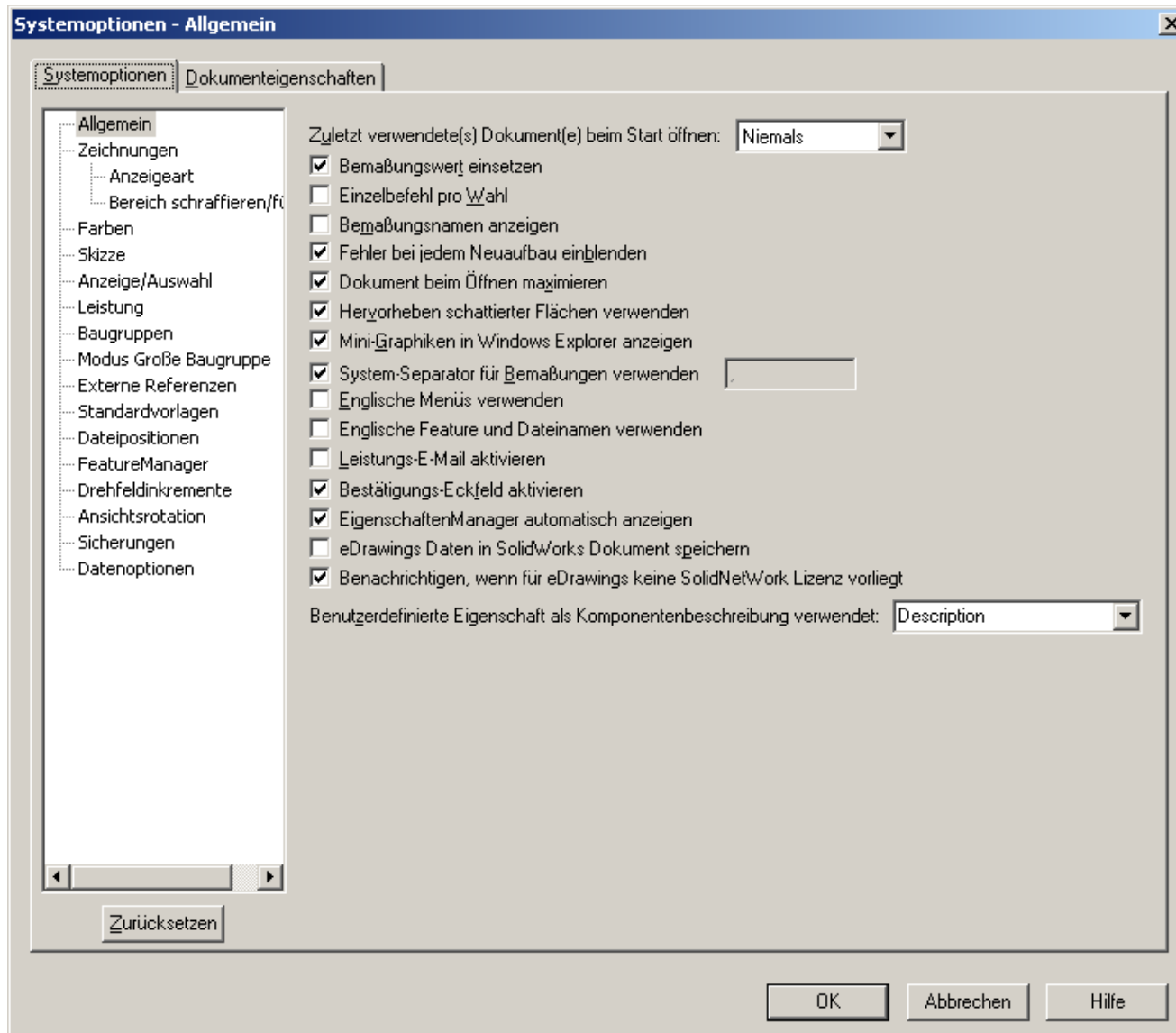
UMSCHALT +  **Zoomen**, der Bildschirmansicht. Verkleinern bzw. Vergrößern

Hinweis: Bei Verwendung einer Maus mit einem Rad, kann mit Hilfe des Rads auf die aktuelle Cursorposition (statt die Bildschirmmitte) gezoomt werden.

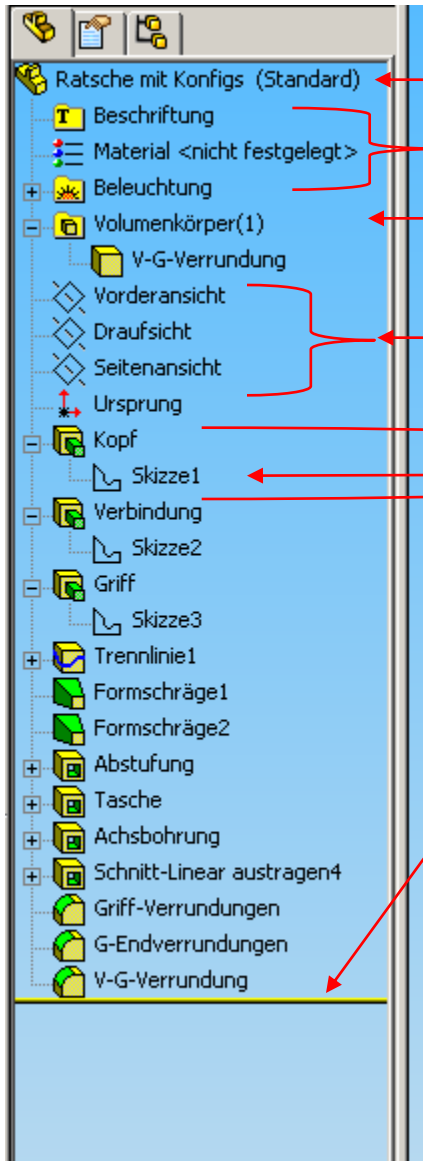
SolidWorks Dokumentarten



Menu: Extras -> Optionen



Feature Manager



Bauteil

**Zusätzliche Informationen
hier: Material, Beleuchtung...**

Hauptkörper

Hauptebenen, Koordinatensystem

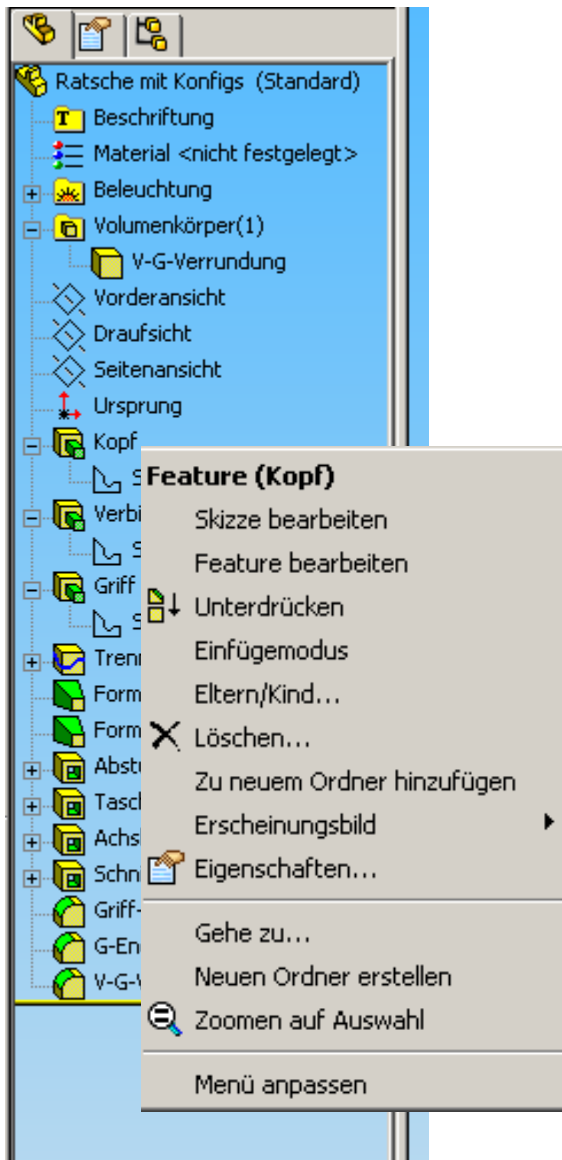
Skizzendefinition


**Feature (Block.1)
(Konstruktionselemente)**

Einfügemarke

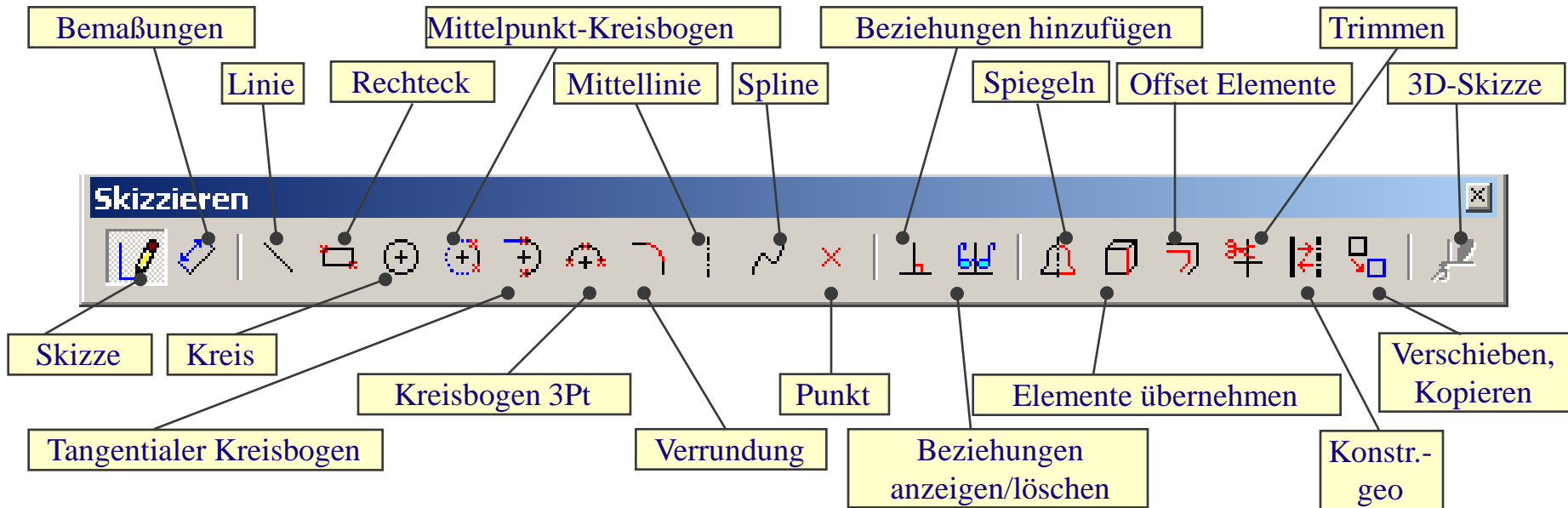
- **Alle Informationen (Parameter, Material, Bedingungen etc.)**
- **Entstehungsgeschichte**
- **Hierarchischer Aufbau**
- **Selektion der Geometrie in Feature Manager**
- **erlaubt nachträgliche Änderungen der Konstruktion**

Feature Manager

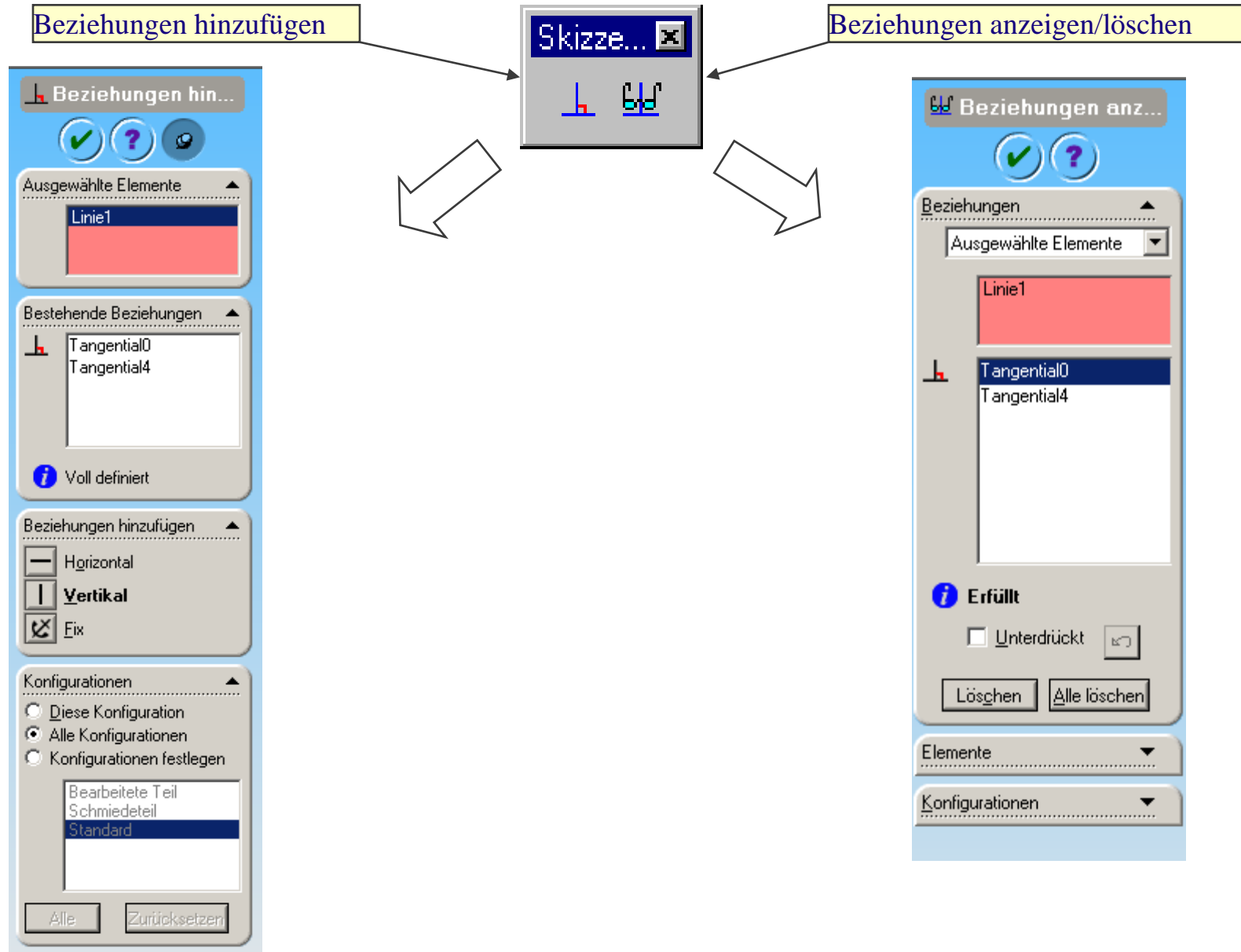


- In 2D-Skizzen können Konturen erstellt werden, die anschließend in einen 3D-Körper überführt werden
- Erstellung einer Skizze in einer Ebene.
- Starten der Skizze-Umgebung mit: „*Einfügen -> Skizze*“
 - Oder Symbol 
 - Danach Ebene oder ebene Fläche wählen. (vordefinierte Ebene oder ebene Körperfläche)
- Skizzen können nachträglich verändert werden. Dazu wird die Skizze im Feature Manager ausgewählt. (Kontextmenu: Skizze bearbeiten)

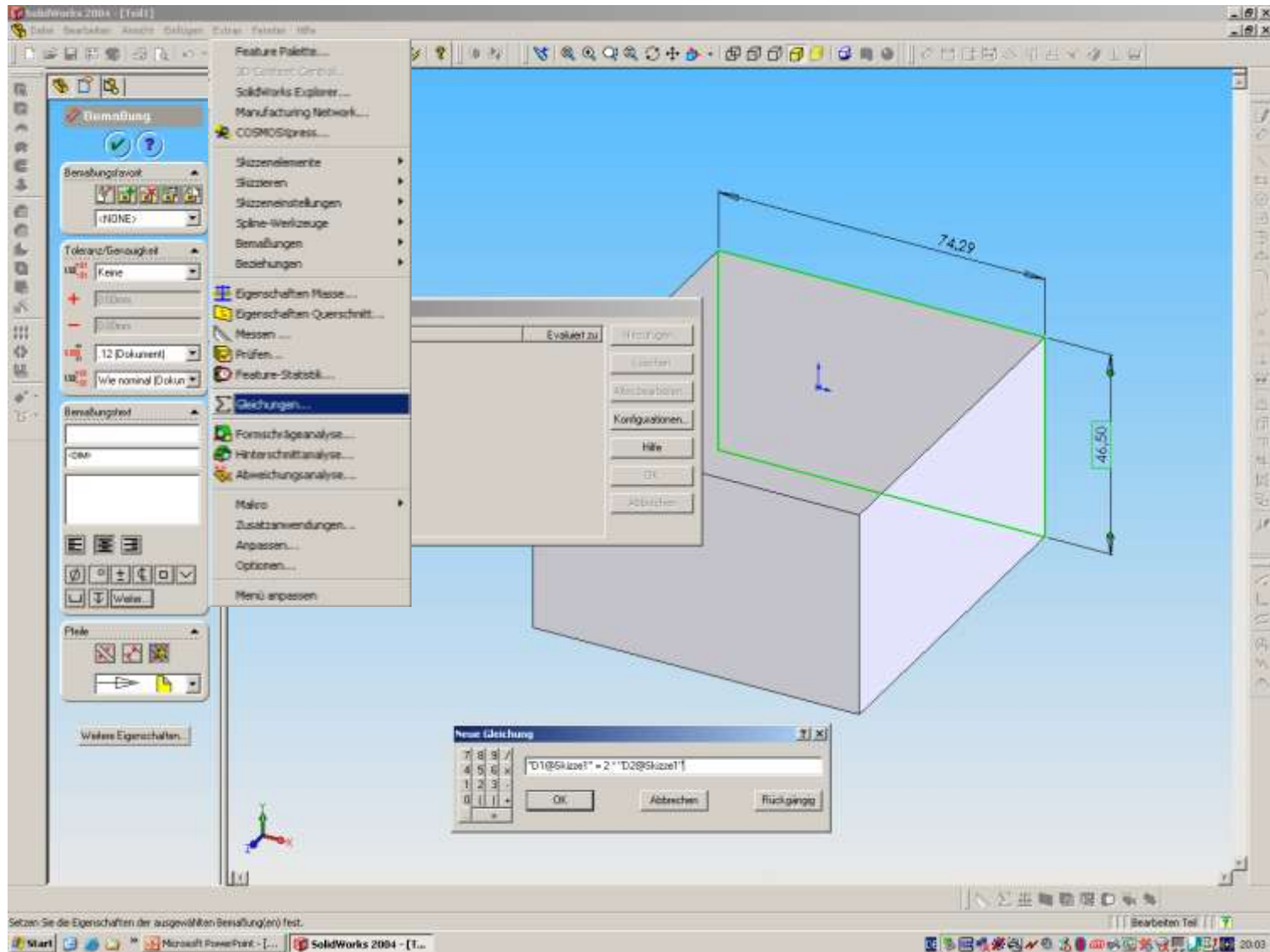
Skizzierwerkzeuge



Beziehungen hinzufügen / anzeigen



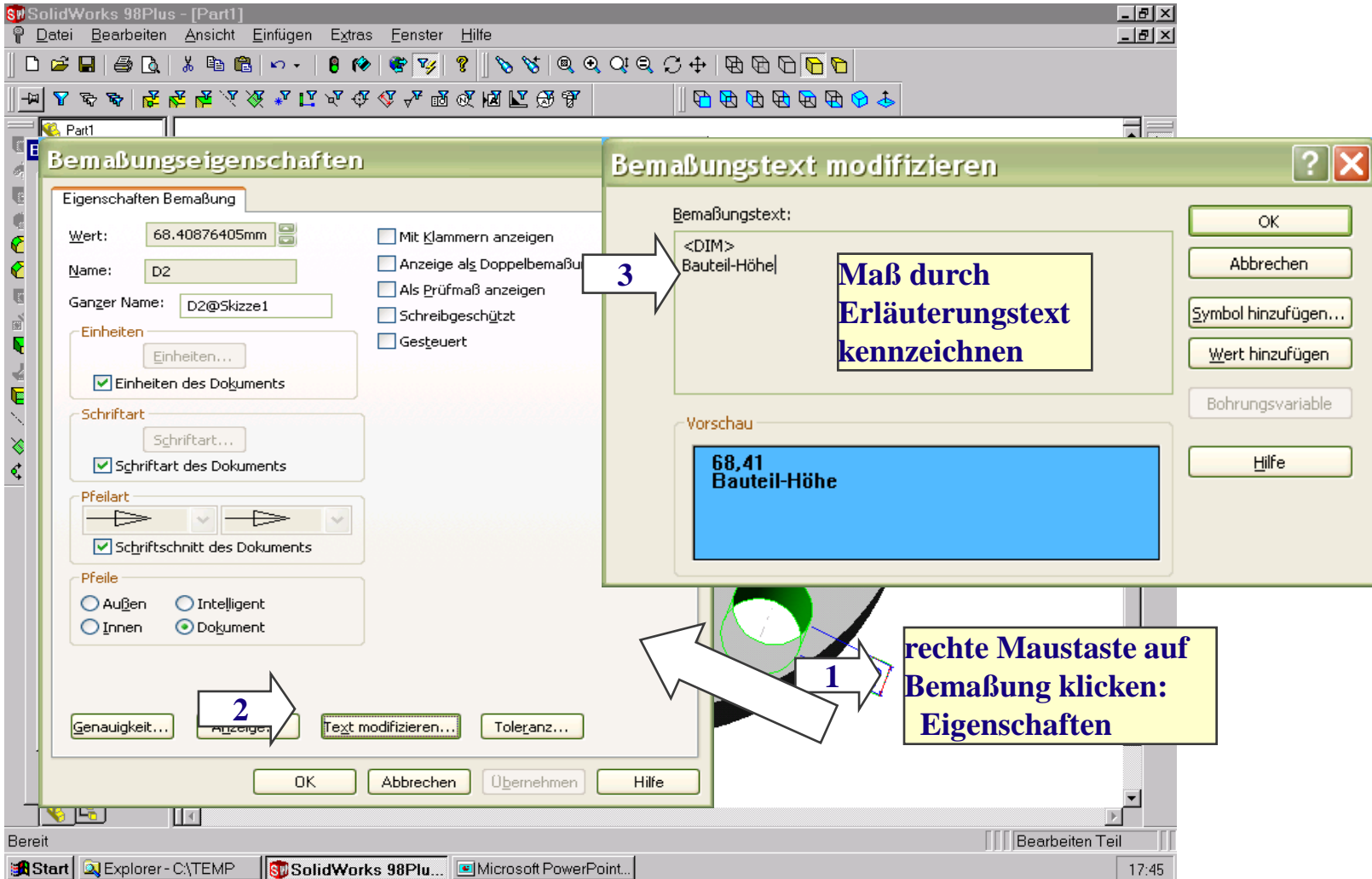
Einfügen von Gleichungen



Operatoren und Funktionen in Gleichungen

| Operator | Beschreibung | Funktion | Beschreibung | Anmerkung |
|----------|---------------------|----------|-------------------------|----------------------------------|
| + | Addition | sin(x) | Sinusfunktion | Einheit für x: Radiant |
| - | Subtraktion | cos(x) | Cosinusfunktion | Einheit für x: Radiant |
| * | Multiplikation | tan(x) | Tangensfunktion | Einheit für x: Radiant |
| / | Division | atn(x) | Kotangensfunktion | Einheit für x: Radiant |
| ^ | Exponentialfunktion | abs(x) | Absolutwert | |
| | | exp(x) | Exponentialfunktion | liefert e ⁿ |
| | | log(x) | Natürlicher Logarithmus | |
| | | sqr(x) | Quadratwurzel | |
| | | int(x) | Ganzzahl | Konvertierung in eine ganze Zahl |
| | | sgn(x) | Vorzeichen | |

Kennzeichnung von Maßen



Baugruppen – Allgemeine Dokumentenstruktur

Baugruppe
(Assembly)

Teil
(Part)

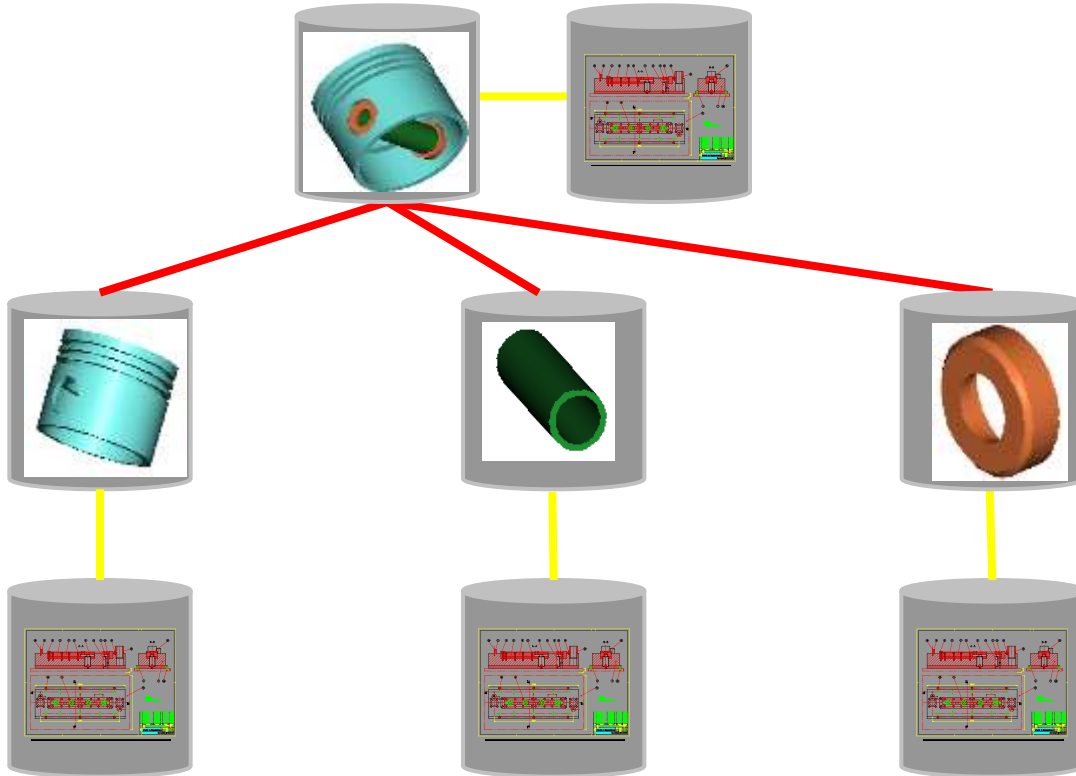
Zeichnung
(Drawing)

Logischer Link

Hierarchischer Link

Assembly – Assembly
Assembly – Part

„Erste“ Stückliste

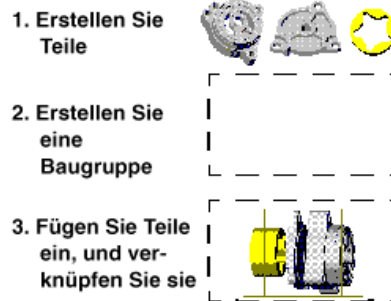


Baugruppen – Product Structure

Bottom-Up-Design

Bottom-Up-Design ist die traditionellere Methode der beiden. Beim Bottom-Up-Design erstellen Sie Teile, fügen sie in eine Baugruppe ein und verknüpfen sie wie durch Ihre Konstruktion erforderlich. Bottom-Up-Design ist die bevorzugte Methode bei der Verwendung von früher erstellten, fertigen Teilen.

Das Bottom-Up-Design hat den Vorteil, daß die Komponenten unabhängig voneinander erstellt werden. Ihre Beziehungen und das Verhalten beim Modellneuaufbau sind einfacher als beim Top-Down-Design. Das Arbeiten von unten nach oben ermöglicht es Ihnen, sich auf die einzelnen Teile zu konzentrieren. Diese Methode empfiehlt sich vor allem dann, wenn keine Referenzen zwischen Teilen erstellt werden müssen.



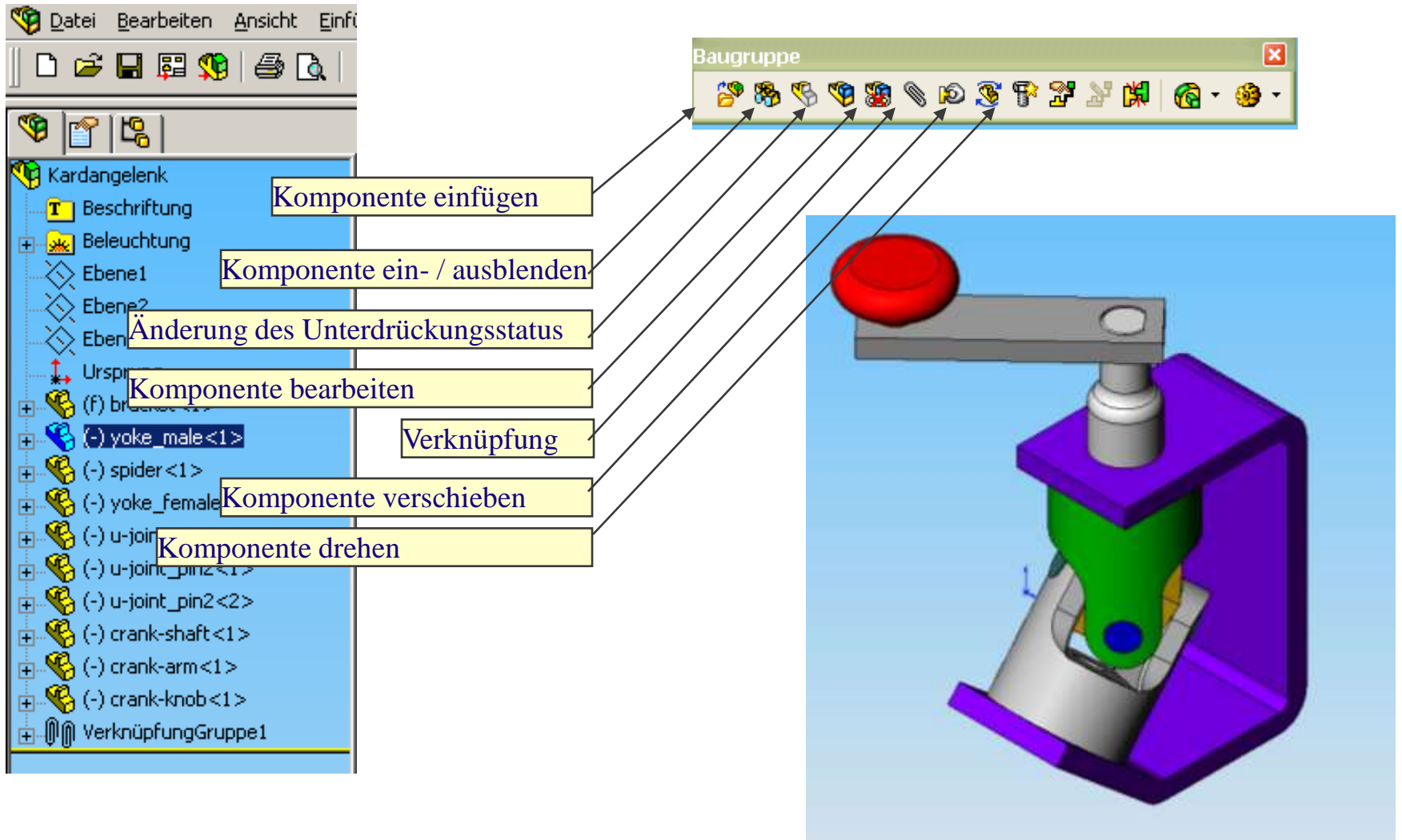
Top-Down-Design

Das Top-Down-Design ist anders, denn Sie beginnen Ihre Arbeit in der Baugruppe. Sie können mit der Geometrie einer Komponente andere Komponenten definieren oder Schnitt- oder Bohrungs-Features erstellen, die erst dann hinzugefügt werden, wenn die Komponenten zusammengebaut sind. Sie können auch mit einer Layout-Skizze beginnen, fixierte Komponentenpositionen, Ebenen usw. definieren und danach die Teile entwerfen, die diese Definitionen referenzieren.

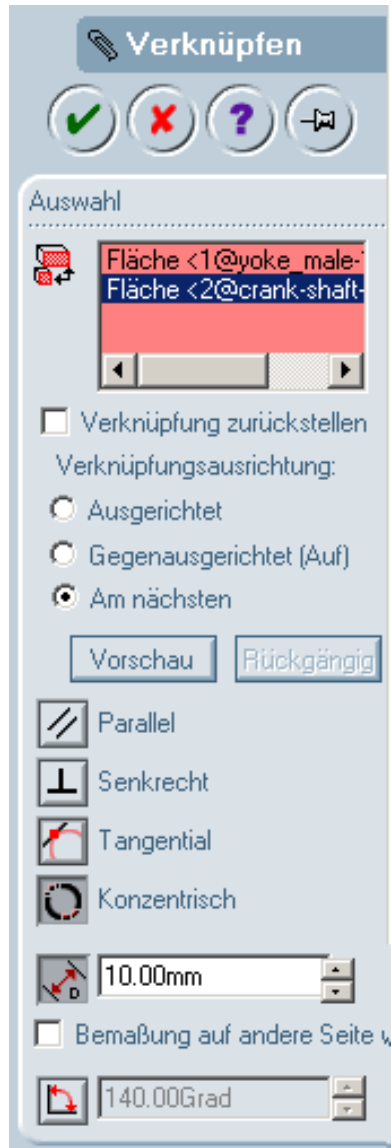
Sie können beispielsweise ein Teil in eine Baugruppe einfügen und anschließend eine Vorrichtung auf der Grundlage dieses Teils erstellen. Wenn Sie von oben nach unten arbeiten und die Vorrichtung *im Kontext* erstellen, können Sie Modellgeometrie referenzieren und dadurch die Bemaßungen der Vorrichtung steuern, indem Sie geometrische Beziehungen zum Ausgangsteil herstellen. Dadurch wird die Vorrichtung automatisch aktualisiert, wenn Sie eine Bemaßung des Teils ändern.

-
- The diagram shows three steps of the Top-Down Design process:
- 1. Erstellen Sie eine Baugruppe**: A dashed rectangular box represents the assembly environment, which is currently empty.
 - 2. Erstellen Sie Teile an Ort und Stelle**: A grey part and a blue part with a red crosshair are shown inside the assembly box, indicating they are being defined in context.
 - 3. Erstellen Sie andere Teile (oder fügen Sie andere Teile ein)**: The final assembly is shown, with the grey and blue parts from step 2 and the yellow and silver parts from step 1 of the Bottom-Up process.

Menüleiste: Baugruppe

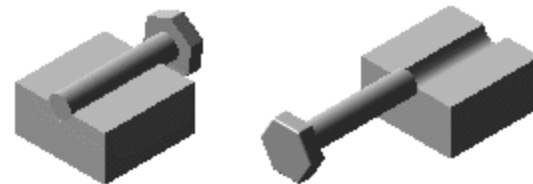


Baugruppe: Verknüpfung

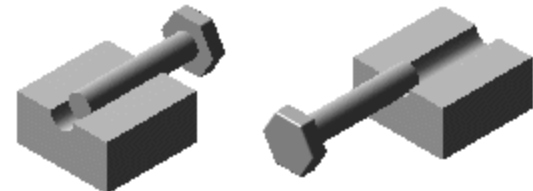


- **Ausgerichtet:** platziert die Komponenten so, dass die normalen Vektoren für die ausgewählten Flächen in die gleiche Richtung zeigen.
- **Gegenausgerichtet (Auf):** platziert die Komponenten so, dass die normalen Vektoren für die ausgewählten Flächen in die entgegengesetzte Richtung zeigen.
- **Am nächsten:** platziert die Komponenten entweder ausgerichtet oder gegenausgerichtet, je nachdem, welche Bedingung mit der geringsten Verschiebung erfüllt werden kann.

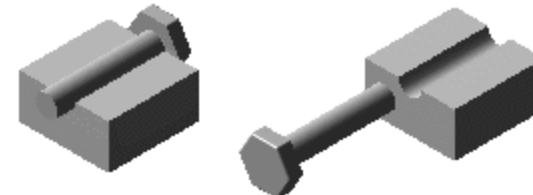
Deckungsgleich



Abstand



Abstand, Bemaßung auf andere Seite wechseln



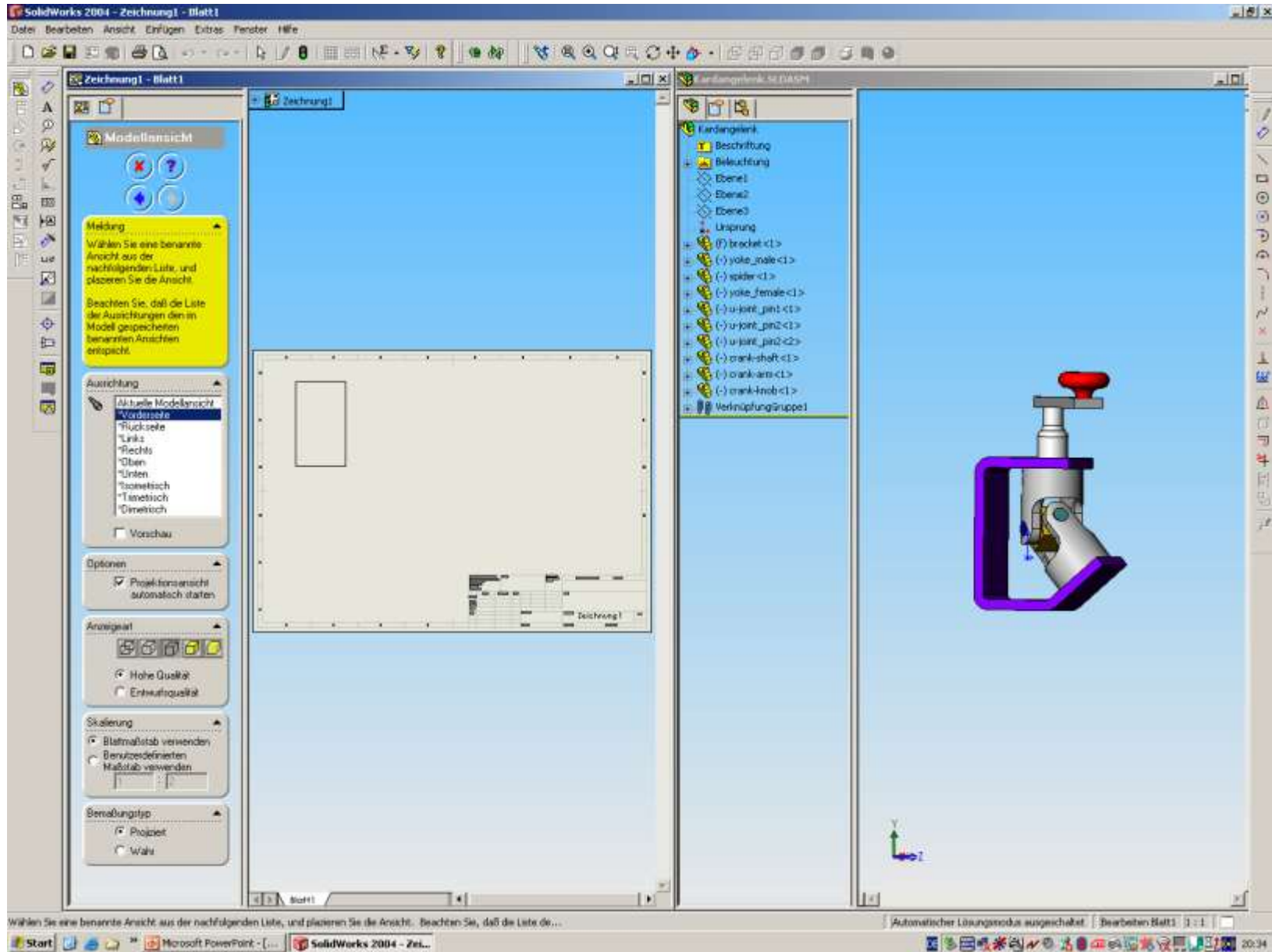
Vorgehensweise (Auswahl):

- Teil, für das eine Zeichnung erstellt werden soll, öffnen.
- Neue Zeichnung öffnen: Datei, Neu, Zeichnung
- Formatvorlage auswählen
- U.U. Formatvorlage bearbeiten: rechte Maustaste in Vorlage klicken, Vorlage bearbeiten, Zum Beenden rechte Maustaste in Vorlage klicken, Blatt bearbeiten
- Fenster nebeneinander anordnen
- Teil aus dem Feature-Baum auf das Zeichenblatt ziehen durch Drücken und Halten der linken Maustaste : 3 Standard-Ansichten werden erzeugt.

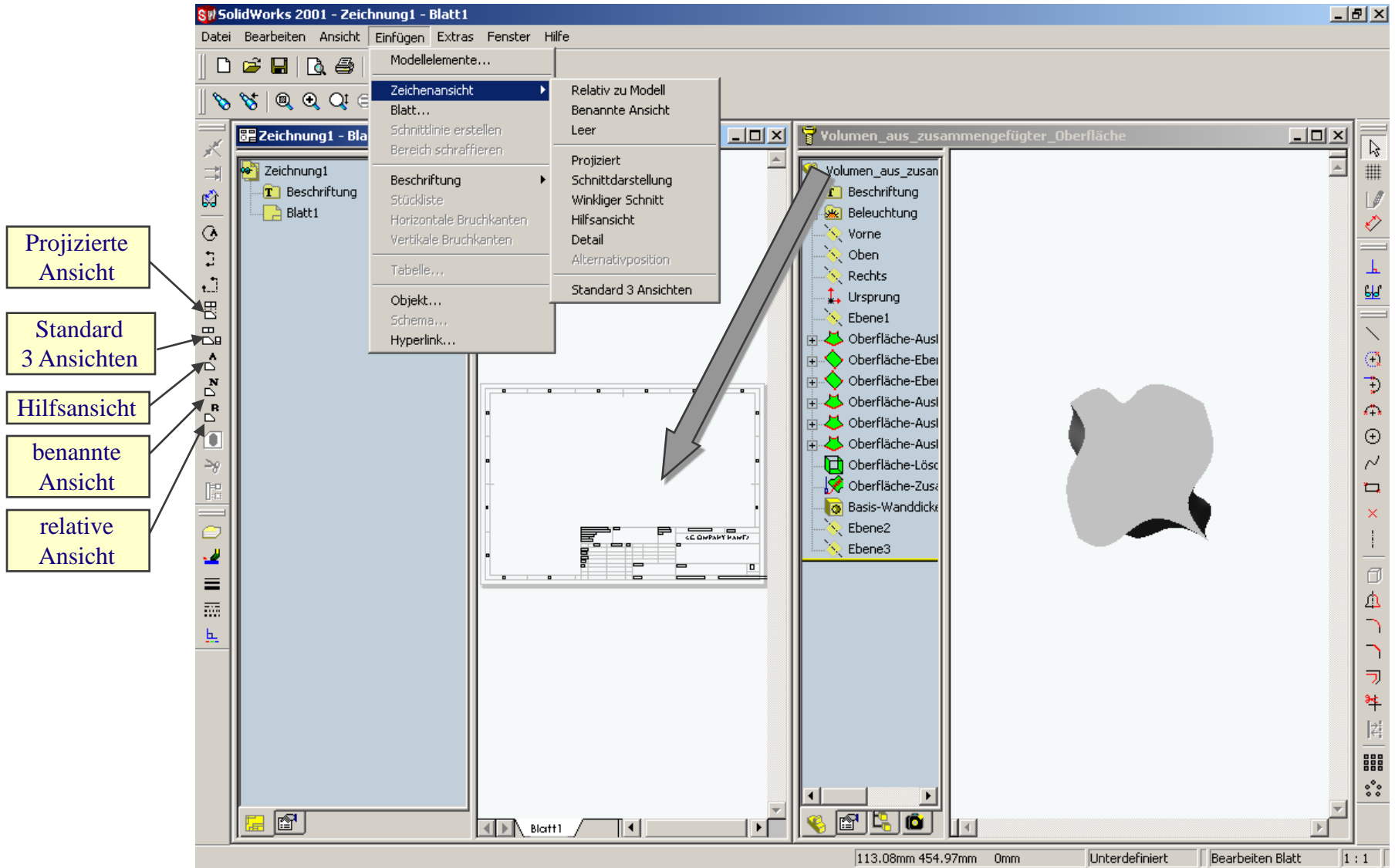
oder z.B. :

- Fenster nebeneinander anordnen, das Teil in die gewünschte Ansicht drehen
- In die Zeichnung gehen, Einfügen, Zeichenansicht, Benannte Ansicht anwählen
- In das Teilfenster klicken, aktuelle Ansicht im Auswahlmenü wählen
- Im Zeichnungsfenster die Position der Ansicht digitalisieren

Ableiten einer Zeichnung: 3 Standard-Ansichten



Feature im Bereich Zeichenansicht

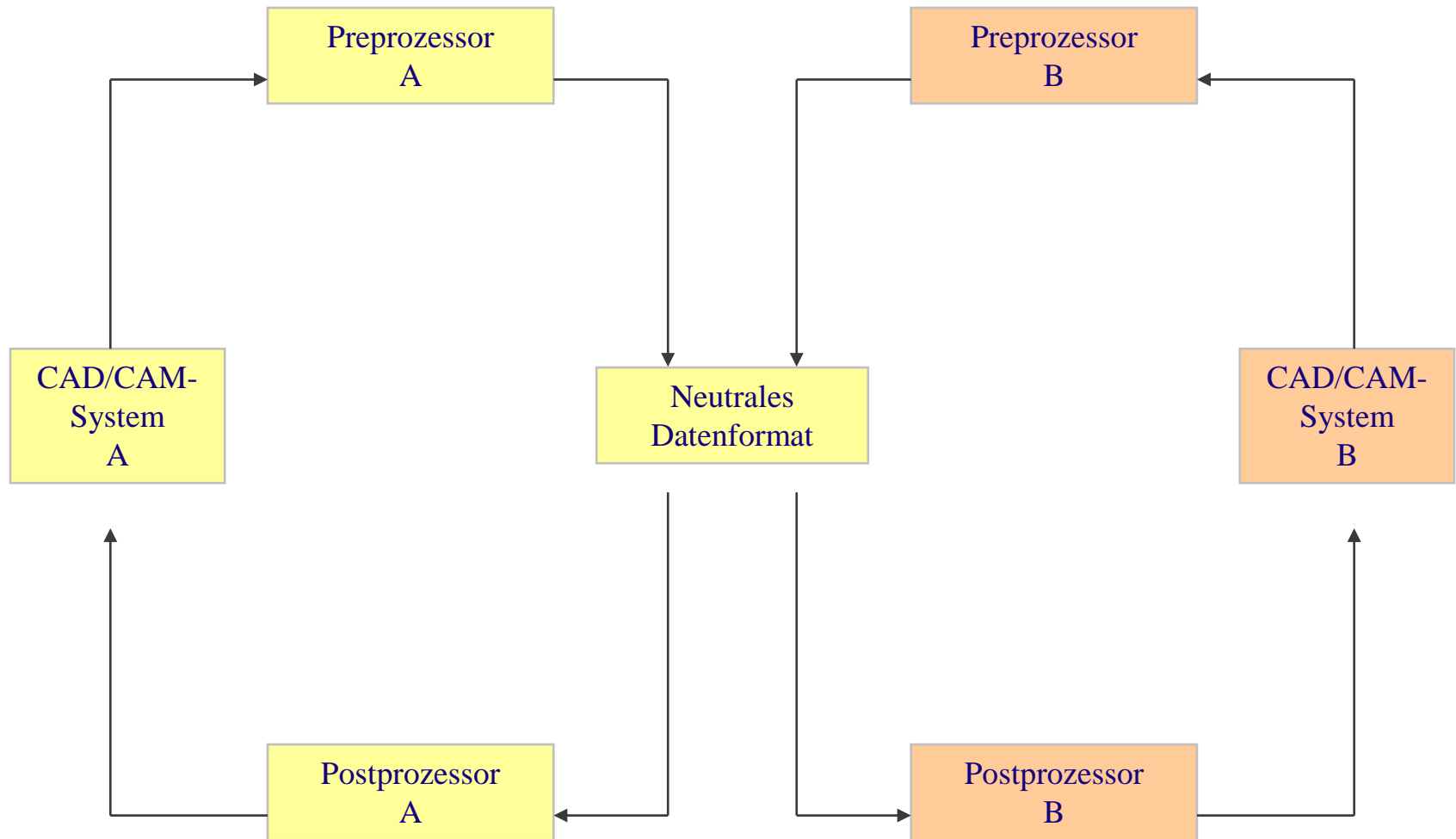




Dateischnittstellen, Import und Export



Daten-Austausch zwischen CAD-Systemen über eine Dateischnittstelle



/ Dateischnittstellen

ACIS:

Eigentlich ist ACIS ein Geometriekern, der ein Non-Manifold B-Rep Modell mit der Beschreibung komplexer Freiformflächen basierend auf der NURBS- Darstellung realisiert. Das ACIS-Datenmodell kann um Attribute erweitert werden. Attribute können beliebig komplexe Objekte sein.

DXF: Drafting Exchange Format

ASCII-Austauschformat des CAD-Systems AutoCAD von Autodesk. Konvertierung von 2D- und 3D-Geometrien sowie Zeichnungselementen (Bemaßung, Texte, Ansichten...)

IGES: Initial Graphics Exchange Specification

IGES dient zur Übertragung von Produktinformationen, die entweder in Form von Zeichnungen oder auch in Form strukturierter, geometrischer Modelle vorliegen können. Mögliche geometrische Modelle sind Kanten-, Flächen- und Volumenmodelle (als Verknüpfungsmodelle, CSG, oder als topologisch, geometrische Modelle, B-Rep, sowie Finite-Element-Netze). Die Beschreibung der Flächen erfolgt analytisch oder approximativ durch Freiformflächen 3. Grades.

STEP: Standard for the Exchange of Product Model Data

Internationale Norm, die ein Produktmodellschema mit Übertragungs- und Archivierungsformaten definiert, das alle im Produktlebenszyklus enthaltenen Informationen beinhaltet. Das integrierte Produktmodell von STEP basiert auf Partialmodellen, die für bestimmte Teilaufgaben konzipiert wurden.

STL: Stereolithographie Language

Schnittstellenformat für den Austausch von Geometriedaten zwischen CAD-Systemen und Rapid- Prototyping-Maschinen. Grundlage für den Austausch ist das Triangulationsverfahren, bei dem die Kontur durch Dreiecke angenähert wird.

VDA-FS: Verband der deutschen Automobilhersteller - Flächenschnittstelle

VDA-FS beschränkt sich auf den Austausch reiner Gestaltdaten auf der Basis der topologischen Verknüpfung von Freiformflächen (bis 5. Grades).

IGES ist das erste standardisierte Format produktdefinierender Daten, das sich in der industriellen Anwendung durchgesetzt hat.

Grundsätzlich liegt der Schwerpunkt auf der Übertragung von Konstruktionsdaten z.B.:

- 2-dimensionale Linienmodelle
- 3-dimensionale Linienmodelle
- 3-dimensionale Flächenmodelle
- 3-dimensionale Volumenmodelle
- Darstellungsmodelle für technische Zeichnungen

Zusätzlich wurden weitere Daten integriert:

- Daten für FEM, Fabrikgestaltung, elektrotechnische / elektronische Anwendungen

Die produktbeschreibenden Daten werden platzsparend im Binärformat in einer ASCII-Datei abgelegt.

Schwachpunkte liegen im hohen Speicherbedarf, den teilweise instabilen Definitionsformen, z.B. bei Kreisen und Kegelschnitten, der starken Zeichnungsorientiertheit, der nicht immer ausreichenden DIN-Gerechtheit und der teilweise ungenauen Beschreibung von Elementen, was zu Fehlinterpretationen führen kann (Freiformflächen nur 3. Grades).

Ein weiterer Schwachpunkt ist, dass keine Aufteilung des Funktionsumfangs in abgeschlossene Unterbereiche möglich ist, weshalb bei Benötigung von nur einer Funktionalität stets der volle Funktionsumfang implementiert werden muss.

Quelle: Spur/Krause, Das virtuelle Produkt, Hanser Verlag

Elemente der IGES-Spezifikation 5.1

| Objektbeschreibung | | Strukturelemente | Vordefinierte Assoziationen | | | |
|--|---|--|---|-----------------|---|--|
| Geometrie | FEM-Modell | Associativity Definition Associativity Instance Drawing Line Font Definition Macro Instance Property Subfigure Definition Network Subfigure Definition Singular Subfigure Instance Circular Array Subfigure Instance Network Subfigure Instance Text Font Definition View External Reference Nodal Load/Constraint Text Display Template Colour Definition Attribute Table Definition Attribute Table Instance Null Connect Point Node Finite Element Nodal Displacement and Rotation Units Data | Group w/o Backpointers External Ref. File Index Views Visible Views Visible, Colour, Line Weight Entity Label Display Single Parent Ass. Dimensional Geometry Ass. Ordered Group w/o Backpointers Planar Ass. Flow | | | |
| Point Connect Point Copious Data 2D Path 3D Path Closed Planar Curve Surface Line Offset Curve Parametric Spline Curve Plane Ruled Surface Surface of Revolution Tabulated Cylinder Rational B-Spline Curve Rational B-Spline Surface Right Circular Cylindrical Surface Spherical Surface Toroidal Surface Flash Transformation Matrix | Finite Elemente Nodal Displacement/Rotation Element Results | | | Bemaßung | | |
| | CSG-Modell | | | | Block Right Ang. Wedge Right Circ. Cylinder Right Circ. Cone Frustum Sphere Torus Solid of Revolution Solid of linear Extrusion Ellipsoid Solid Instance Solid Assembly Selected Component | |
| | B-Rep-Solid-Modell | | | | | Manifold Solid B-Rep Object Vertex Edge Loop Face Shell |
| | | | | | | |

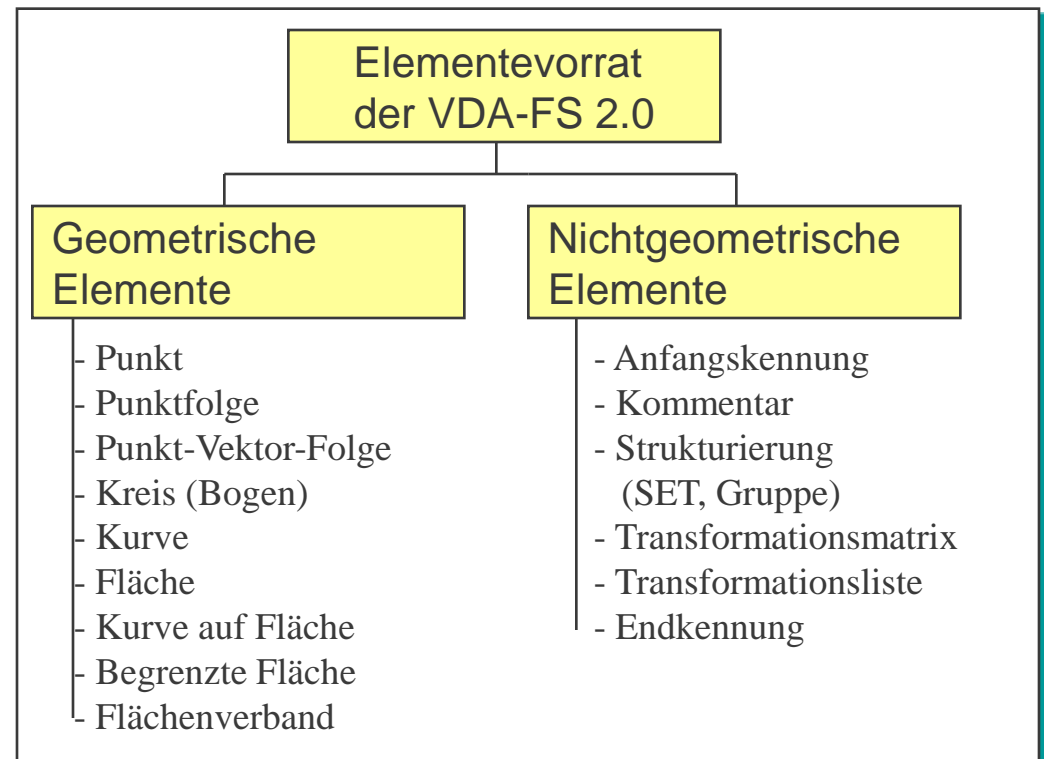
Quelle: Spur/Krause, Das virtuelle Produkt, Hanser Verlag

Die VDA-FS-Schnittstelle ist seit 1988 ein Standard des Deutschen Instituts für Normung (DIN) und ist in der DIN 66301 definiert. Sie wird nur zur Beschreibung von geometrischen Daten, insbesondere von Freiformflächen, eingesetzt.

Bei der VDA-FS-Datei handelt es sich um eine sequentielle ASCII-Datei mit einer festen Datensatzlänge von 80 Zeichen. Sie setzt sich aus Elementen zur Kennzeichnung von Dateianfang, Datenende, Strukturierung und Kommentar sowie u.a. den folgenden grundlegenden Geometrieelementen zusammen:

- Punktfolge
- Punkt-Vektor-Folge
- Kurve (stückweise stetige Polynome n-ten Grades)
- Fläche (in Polynomdarstellung n-ten Grades)

Gesamter Elementevorrat von VDA-FS 2.0:



Quelle: Spur/Krause, Das virtuelle Produkt, Hanser Verlag

Am Beispiel der Prozeßketten in der Automobilindustrie wird deutlich, daß der Austausch von Geometriedaten, z.B. durch IGES oder VDA-FS, nicht mehr ausreicht.

Die ISO 10303, "Standard for the Exchange of Product Model Data" kurz STEP, ist seit 1994 eine internationale Norm zur neutralen Beschreibung von Produktdaten. Es soll hiermit ein weltweit einheitliches Referenzmodell genormt werden, mit dem der Austausch, die Speicherung und Archivierung sowie die Verarbeitung sämtlicher Produktdaten über den gesamten Produktlebenszyklus möglich ist. Anwendungen dieses Modells sind nicht beschränkt, so daß ein interdisziplinäres Modell entsteht.

Die Beschreibung des Datenformates eignet sich als Basis der Definition eines neutralen Fileformates, des Entwurfes einer Produktdatenbank und der Konzipierung einer prozeduralen Schnittstelle.

Neben der Normung produktbezogener Informationen werden mit der ISO10303 auch die Beschreibungssprache EXPRESS zur Informationsmodellierung, Mechanismen zum Austausch und Zugriff auf Produktinformationen sowie Methoden zum Konformitätstest definiert. STEP kann als Baukasten aufgefaßt werden, mit dem anwendungsorientierte Produktinformationsmodelle unter Verwendung von Grundbausteinen, den sogenannten integrierten Ressourcen, nach definierten Regeln und genormten Methoden beschrieben werden.

Quelle: Spur/Krause, Das virtuelle Produkt, Hanser Verlag

Vergleich VDA-FS <==> STEP

| Rechnerinterpretierbare* Produktdaten | IGES 5.1 | STEP AP 214 |
|--|----------|-------------|
| Geometrie und Topologie (2D, 3D) | × | × |
| Zeichnungen mit Bemaßung (Layout, Verweis auf 3D-Geometrie) | × | × |
| Produktkonfiguration (Produktversion, Stückliste) | — | × |
| Produkteigenschaften (Material, Gewicht, Entsorgung) | — | × |
| Oberflächeneigenschaften (Beschichtung, Rauheit, Härte) | — | × |
| Toleranzen (Form, Lage, Maß, Passung) | — | × |
| Externe Referenzen (Native-Formate, Pflichtenheft, Hardware-Modelle) | — | × |
| Finite-Elemente-Daten (Beanspruchung, FE-Netz, Ergebnisse) | — | × |
| Kinematik (Gelenkinformationen, Verfahrestrecken) | — | × |
| Formelemente (Tasche, Nut) | — | × |
| Arbeitsplan (Werkzeuge, Prüfhinweise) | — | × |

*Rechnerinterpretierbar bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Daten vom empfangenden System weiterverarbeitet werden können, ohne dass hierzu eine manuelle Aufbereitung der Daten erforderlich ist. Beispiel Toleranzdaten:

Mit IGES lassen sich zwar Zeichnungen übertragen, die Toleranzinformationen enthalten, die Programmierung einer Messmaschine zur Kontrolle dieser Toleranzen kann aber nur vom Bediener anhand der Zeichnungsdaten erfolgen.

Dagegen

können Toleranzinformationen z.B. mit dem STEP- Application Protocol 214 rechnerinterpretierbar übertragen und von einem

Programmiersystem direkt verarbeitet werden.

Quelle: ProSTEP GmbH

STEP: Bestandteile

allgemeine Bestandteile:

- Generische und anwendungsbezogene Informationsmodelle
- Anwendungsprotokolle
- Methoden zur Spezifikation und Implementierung
- Konzepte zum Testen und Prüfen

Die Serien im Überblick (siehe Bild):

- 0er Serie: Grundlagen, Prinzipien
- 10er Serie: Beschreibungs- und Spezifikationsmethoden
- 20er Serie: Implementierungsmethoden
- 30er Serie: Testmethoden und -kriterien
- 40er Serie: anwendungsunabhängige, integrierte Basismodelle
- 100er Serie: anwendungsabhängige Basismodelle
- 200er Serie: Anwendungsprotokolle
- 300er Serie: abstrakte Testmethoden
- 500er Serie: anwendungsspezifische, interpretierte Konstrukte

Quelle: Spur/Krause, Das virtuelle Produkt, Hanser Verlag

| ISO 10303 Produktdatenrepräsentation und -austausch | | |
|--|---|---|
| Überblick und grundlegende Prinzipien | | |
| Beschreibungsmethoden | Generische Ressourcen | Anwendungsprotokolle |
| 11 EXPRESS-Beschreibungssprache 13 STEP- Entwicklungsmethodik | 41 Grundlagen der Produktbeschreibung 42 Geometrische und topologische 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 |
| Implementierungsmethoden | Konformitätstests | Anwendungsorientierte Basismodelle |
| 21 Austauschstrukturen auf Textbasis 22 Spezifikation der Standardzugriffsschnittstelle | 31 Generelle Konzepte 32 Anforderungen an die Testumgebungen | 101 Zeichnungen 102 Schiffsstrukturen 103 Elektrik/Elektronik 104 Finite-Element-Analyse 105 Kinematik 106 Kernmodell für Baukonstruktionen |
| Abstrakte Testfälle | Integrierte Anwendungsbezogene Konstrukte | |
| 301 ATS für explizites Zeichnen 303 ATS für Baugruppenkonstruktionen | | 501 Drahtmodell 512 Facettenmodell 514 Randflächenmodell 515 CSG-Darstellung |

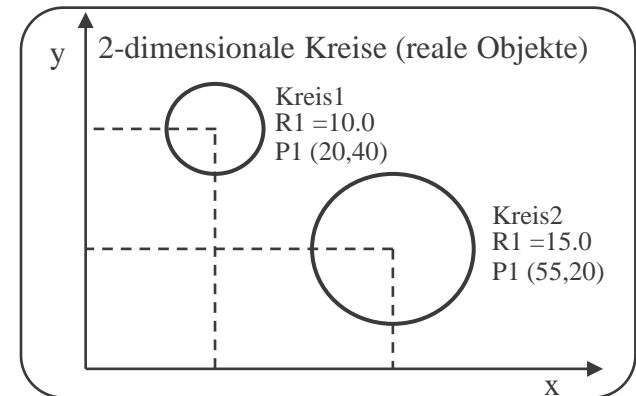
/ Dateischnittstellen

STEP: Beschreibungsmethoden (*Description Methods*)

Zur konsistenten, widerspruchsfreien und semantisch eindeutigen Beschreibung des Produktmodells von STEP wurde die formale Beschreibungssprache EXPRESS und deren graphische Repräsentation EXPRESS-G definiert. EXPRESS ist Bestandteil von STEP und unter der Nummer ISO 10303-11 veröffentlicht. EXPRESS ist eine Spezifikationssprache (keine Programmiersprache) zur logischen Beschreibung von Informationsmodellen. EXPRESS hat sowohl objektorientierte Eigenschaften als auch solche, die durch die Entity-Relationship-Methode definiert sind. Es ermöglicht die formale, eindeutige und vollständige Beschreibung des (statischen) Produktmodells, d.h., in EXPRESS sind die Integrated Resources und Application Protocols beschrieben. EXPRESS eignet sich aber auch zur Informationsmodellierung außerhalb des Gültigkeitsbereichs von STEP. Beispiel: EXPRESS-Beschreibung von Kreisen:

```
SCHEMA example_schema; Klassen-  
  ENTITY point;          beschreibung  
    x: REAL;             (EXPRESS)  
    y: REAL;  
    z: OPTIONAL REAL;  
  END_ENTITY;  
  ENTITY circle;  
    center_point: point;  
    radius: REAL;  
  DERIVE  
    area: REAL:=Pi * radius *2;  
  END_ENTITY;  
END_SCHEMA;
```

Abbildung auf
eine sequentielle Datei
(Part 21)



```
ISO-10303-21;  
HEADER;  
FILE_SCHEMA (('example_schema'));  
ENDSEC;  
DATA  
$1 = POINT(20.0,40.0,$);  
$2 = POINT(55.0,20.0,$);  
$11 = CIRCLE($1, 10.0);  
$12 = CIRCLE($2, 15.0);  
ENDSEC;  
END-ISO-10303-21;
```

Ein in EXPRESS beschriebenes Informationsmodell kann mit einer konzeptionellen Schemabeschreibung für Datenbanken verglichen werden. Es ist somit noch unabhängig von einer speziellen Implementierung, liegt jedoch schon in rechnerverarbeitbarer Form vor. Damit ist es möglich, ein solches logisches Modell (Spezifikation) mit Hilfe von Softwarewerkzeugen in verschiedene Zielimplementationen abzubilden. In STEP werden betrachtet:

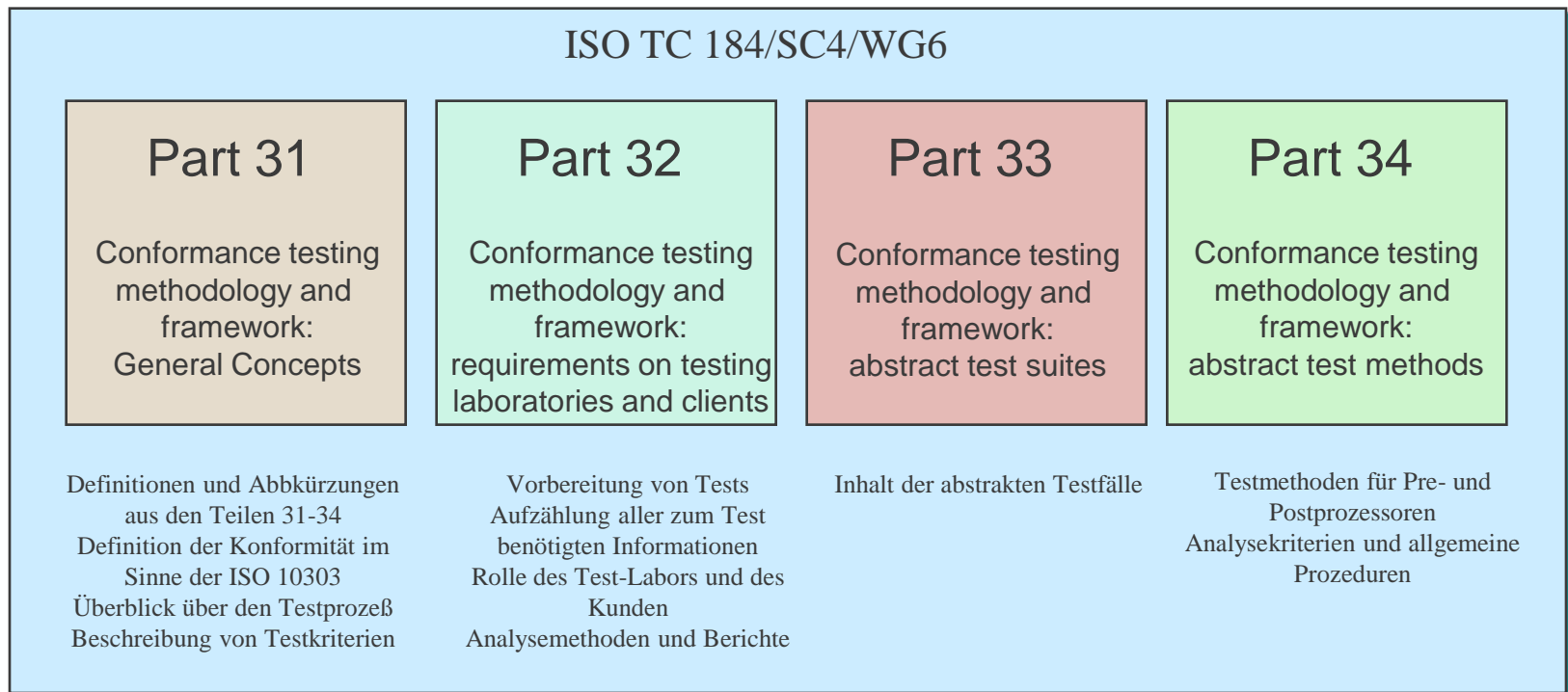
- Physical File Exchange für den Austausch von Produktdaten durch eine sequentielle Datei (ISO 10303-21).
- Ein Application Programming Interface (API) für den Zugriff auf Produktdaten, die in einem beliebigen System gespeichert und mit einem EXPRESS-Schema beschrieben sind. Dieser Teil von STEP (ISO 10303-22) trägt die Bezeichnung Standard Data Access Interface (SDAI). Zugehörig ist die Definition von Spracheinbindungen des SDAI in C++ (ISO 10303-23), C (ISO 10303-24), FORTRAN (ISO 10303-25) und IDL (Interface Definition Language) (ISO 10303-26).
- Data Sharing als Bezeichnung für den transparenten Zugriff aus Anwendungsprogrammen auf eine logische Datenbasis, die mit einem EXPRESS-Schema beschrieben ist und physisch im Netz verteilt sein kann. Die Entwicklung und Normung von Spezifikationen hierfür ist heute Gegenstand von Forschungsprojekten.
- Die Langzeitarchivierung von Produktdaten z.B. entsprechend den Vorschriften zur Produkthaftung.

STEP: Konformitätstests (*Conformance Testing Methodology and Framework*)

Zur Validierung von STEP unterstützender Software wurden Grundlagen und Methoden zum Konformitätsnachweis definiert. Hier sind allgemeine Konformitätskriterien und Testverfahren sowie Vorgehensweisen zur Testdurchführung beschrieben. Abstrakte Testmethoden werden für jede Implementierungsmethode definiert.

Für die erstellten Application Protocols werden korrespondierend Fallbeispiele zur Konformitätsprüfung (Abstract Test Suites, ISO 10303-301 ff.) entwickelt.

Überblick über den Inhalt der Normen ISO 10303-31 bis ISO 10303-34:



Quelle: ProSTEP GmbH

STEP: Generische Ressourcen (*Integrated Generic Resources*)

Den Kern von STEP bilden die Integrated Generic Resources. Dies sind Informationsmodelle, die Produktdaten unabhängig von einer speziellen Anwendung in EXPRESS beschreiben

[ISO-10303-1-93]. Sie definieren z.B. Geometrie- und Topologie- (Geometric and Topological Representation), Material- (Materials), Toleranz- (Tolerances) oder Strukturinformationen (Product structure configuration) eines Produktes. Daneben ermöglichen sie die Beschreibung von Parametern und Regeln für die visuelle Darstellung (Visual presentation). Ein Modell zur Abbildung der logischen Abfolge von Prozessaktivitäten und deren Parameter (Process structure and properties) wurde ebenfalls definiert.

Wichtige Partialmodelle für CAD-Systeme:

Das Geometriemodell umfasst unterschiedliche Abbildungsformen, z.B. B-Rep, CSG, Drahtmodelle, SUR, SOLID. Unabhängig von der konkret vorliegenden Form werden logische Geometrieelemente definiert, die Punkte, Kanten, Flächen oder Volumen repräsentieren und durch eine Abbildungsvorschrift mit den möglichen Elementen der Repräsentationsform verbunden sind.

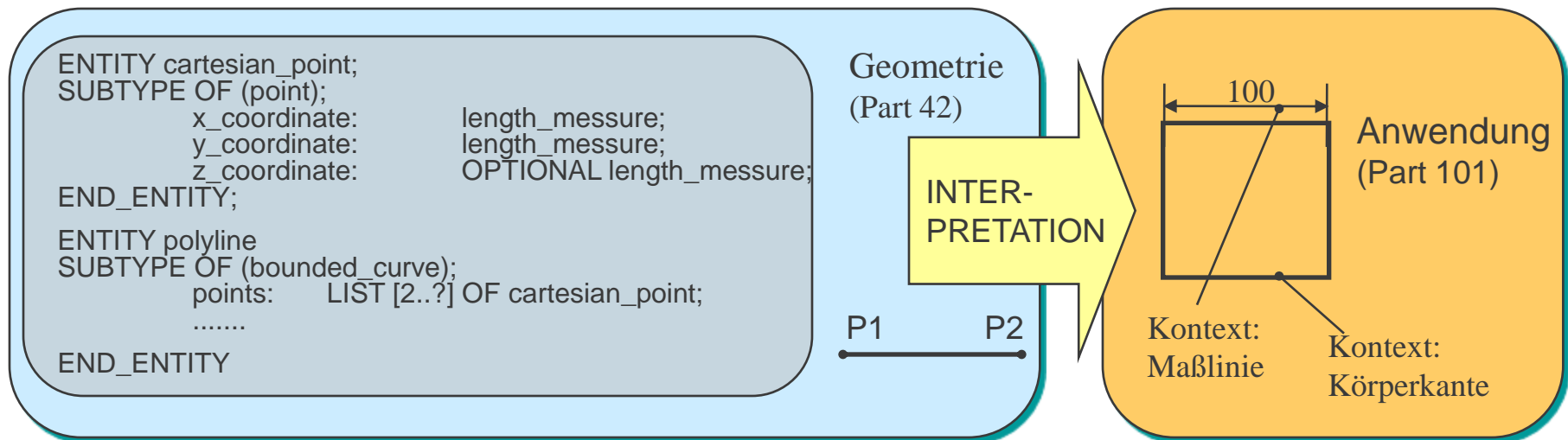
Das Topologiemodell stellt Elemente zur strukturorientierten Beschreibung (nur) von Flächenbegrenzungsmodellen zur Verfügung. Grundelemente sind Schalen, Flächen, Konturzüge, Kanten und Eckpunkte. Topologische Flächen, Kanten und Eckpunkte weisen auf Flächen, Kanten und Eckpunkte im Geometriemodell hin. Während das Geometriemodell infinite Elemente enthält, wird die Begrenzung durch das Topologiemodell beschrieben.

Das Toleranzmodell unterstützt die Definition von Maß-, Form- und Lagetoleranzen. Maßtoleranzen werden durch Angabe eines oberen und unteren Abmaßes festgelegt, wobei der Nennwert nicht explizit angegeben wird, da dieser im Gestaltmodell vorliegt. Form- und Lagetoleranzen beziehen sich auf reale Bauteilgeometrie oder auf Hilfsgeometrien.

Quelle: ProSTEP GmbH, Spur/Krause, Das virtuelle Produkt, Hanser Verlag

STEP: Anwendungsorientierte Basismodelle (*Application Resources*)

Sie stellen eine Erweiterung der Basismodelle dar. So spezialisiert z.B. das Anwendungsmodell Zeichnungswesen (ISO 10303-101 Draughting) Geometrieelemente, die im Teil Geometrie, Topologie und Geometriemodelle (ISO 10303-42 Geometric and topological representation) definiert sind, im Kontext von technischen Zeichnungen. Beispielsweise wird eine Gerade im Sinne von ISO 10303-101 als Maßlinie deklariert:



Die Anwendungsmodelle Draughting (ISO 10303-101) und Kinematics (ISO 10303-105) haben den Stand einer internationalen Norm erreicht. Desweiteren sind folgende Application Resources in der Entwicklung:

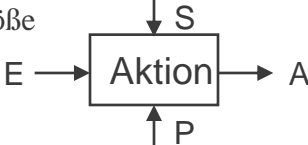
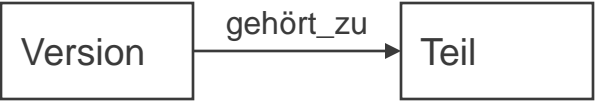
- Ship Structures (ISO 10303-102);
- Electrical/Electronics Connectivity (ISO 10303-103);
- Finite Element Analysis (ISO 10303-104);
- Building Construction Core Model (ISO 10303-106).

Quelle: ProSTEP GmbH

STEP: Anwendungsprotokolle (*Application Protocols*)

Durch unterschiedliche Prozeßabläufe wird sich das Produktmodell von Branche zu Branche unterscheiden, Beispiel Serienfertiger (z.B. ein Automobilhersteller) oder Einzelfertiger.

Werden ausschließlich mechanische Produkte betrachtet, sind andere Objekte zur Produktbeschreibung relevant als bei rein elektronischen Produkten (z.B. Leiterplatten). Für die Beschreibung des Produktdatenmodells einer speziellen Anwendung werden nicht alle der in den generischen Ressourcen definierten Elemente benötigt. Andererseits müssen die generischen Konstrukte der Basismodelle in den Kontext der Anwendung gestellt werden, was durch die Definition von Regeln und Spezialisierungen zu den Objekten der Kernmodelle erfolgt. Die Application Protocols (ISO 10303-201 ff.) sind derartige branchen- bzw. anwendungsspezifische Produktdatenmodelle in STEP. Die Bestandteile des Protokolls sind:

| Modell | Aufgabe | Beschreibungsmittel |
|--------------------------------------|---|--|
| AAM Application Activity Model | Beschreibung der Funktionalität der informationstechnischen Lösung, für die das Anwendungsmodell spezifiziert wird. | SADT-Methode: Eingang, Ausgang, Methode, Steuergröße  |
| ARM Application Reference Model | Beschreibung der informationstechnischen Lösung aus Anwendersicht. | EXPRESS-G, EXPRESS, IDEFIX, NIAM  |
| AIM Application Interpreted Model | Ergebnis der Abbildung des ARM auf die STEP-Kernmodelle (Generische Ressourcen) Das AIM ist die Grundlage für die Implementierung, ist selbst aber implementierungsunabhängig. | EXPRESS-G, EXPRESS ENTITY product_version; id: identifier; description: text; of_product: product; END_ENTITY; ENTITY product; id: identifier; name: label; description: text; END_ENTITY; |

Quelle: ProSTEP GmbH

SADT: Structured Analysis and Design Technique

Das Application Protocol 214 (Core Data for Automotive Mechanical Design Processes) erlaubt die Beschreibung von Modelldaten für mechanische Teile und Baugruppen in der Automobilentwicklung. Vorhandene Datenklassen sind:

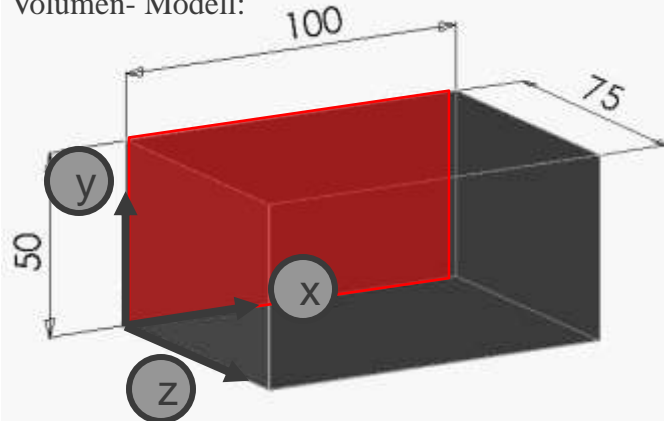
- Produktstruktur (organisatorische Daten, Baugruppenstruktur, Stücklistendaten),
- Geometrie und Topologie (Kanten-, Flächen-, Volumenmodelle),
- Darstellung von Geometrie (Farbe, Linienstärke, schattierte Darstellungen),
- Toleranzen,
- Bauteil- und Baugruppenbeschreibungen in Form von Zeichnungen,
- Kinematik,
- Materialangaben,
- Oberflächeneigenschaften.

Da alle relevanten Daten für die Entwurfs- und Konstruktionsprozesse beschrieben werden, können sich sowohl für die Hersteller als auch die Zulieferer strategische Vorteile ergeben. Diese Vorteile, die sich auf nahezu alle STEP-Anwendungen übertragen lassen, bestehen unter anderem in:

- Systemunabhängigkeit, Datendurchgängigkeit über den gesamten Produktlebenszyklus,
- redundanzfreie Produktdatenbeschreibung,
- höhere Qualität der Produktdaten durch formale Beschreibung nach genormter Methodik,
- qualitativ besserer Produktdatenaustausch
- Möglichkeiten der Langzeitarchivierung.

STEP: Beispielmodell und zugehöriger Ausschnitt aus der Stepdatei(AP214)

Volumen- Modell:



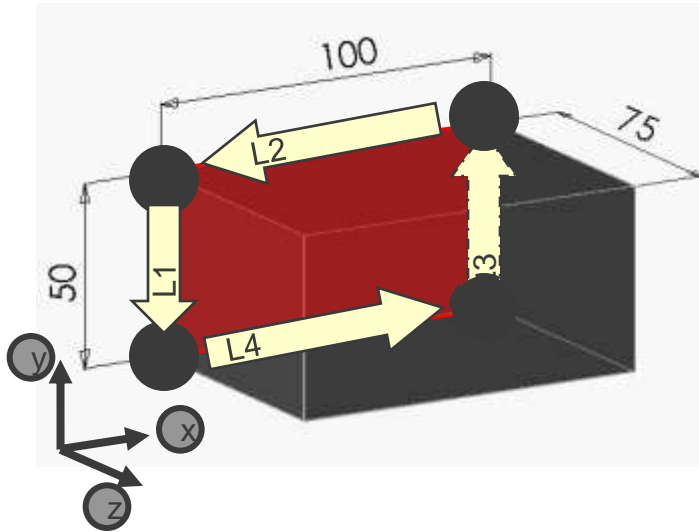
```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION (( 'STEP AP214' ),
'1');
FILE_NAME ('Teil9.STEP',
'2002-01-16T15:01:49',
('information'),
('base'),
'SwSTEP 2.0',
'SolidWorks 2001039',
);
FILE_SCHEMA (( 'AUTOMOTIVE_DESIGN' ));
ENDSEC;
DATA;
#1 = VERTEX_POINT ('NONE', #31);
#2 = ADVANCED_FACE ('NONE', (#32), #33, .T.);
#7 = CLOSED_SHELL ('NONE', (#21, #28, #2, #238, #10, #15));
#9 = VERTEX_POINT ('NONE', #45);
#12 = VERTEX_POINT ('NONE', #63);
19 = EDGE_CURVE ('NONE', #1, #9, #78, .T.);
#22 = EDGE_LOOP ('NONE', (#149, #80, #134, #29));
#27 = EDGE_CURVE ('NONE', #150, #1, #101, .T.);
#29 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #27, .F.);
#31 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (100, 0, 0));
#32 = FACE_OUTER_BOUND ('NONE', #22, .T.);
#33 = PLANE ('NONE', #34);
#34 = AXIS2_PLACEMENT_3D ('NONE', #35, #36, #37);
```

```
#35 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 50, 0));
#36 = DIRECTION ('NONE', (0, 0, -1));
#37 = DIRECTION ('NONE', (-1, 0, 0));
#45 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (100, 50, 0));
#63 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 50, 0));
#78 = LINE ('NONE', #81, #82);
#80 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #148, .F.);
#81 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (100, 0, 0));
#82 = VECTOR ('NONE', #83, 1000);
#83 = DIRECTION ('NONE', (0, 1, 0));
#98 = EDGE_CURVE ('NONE', #12, #150, #117, .T.);
#101 = LINE ('NONE', #102, #103);
#102 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 0, 0));
#103 = VECTOR ('NONE', #104, 1000);
#104 = DIRECTION ('NONE', (1, 0, 0));
#117 = LINE ('NONE', #118, #119);
#118 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 0, 0));
#119 = VECTOR ('NONE', #120, 1000);
#120 = DIRECTION ('NONE', (0, -1, 0));
#125 = COLOUR_RGB ("0.7529, 0.7529, 0.7529");
#126 = FILL_AREA_STYLE_COLOUR ("", #125);
#127 = FILL_AREA_STYLE ("", (#126));
#128 = SURFACE_STYLE_FILL_AREA (#127);
#129 = SURFACE_SIDE_STYLE ("", (#128));
#130 = SURFACE_STYLE_USAGE (BOTH, #129);
#131 = PRESENTATION_STYLE_ASSIGNMENT ((#130));
#132 = STYLED_ITEM ("", (#131), #135);
#134 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #19, .F.);
#135 = MANIFOLD_SOLID_BREP ('NONE', #7);
#136 = LINE ('NONE', #137, #138);
#137 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 50, 0));
#138 = VECTOR ('NONE', #139, 1000);
#139 = DIRECTION ('NONE', (-1, 0, 0));
#140 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 0, 0));
#141 = (LENGTH_UNIT () NAMED_UNIT (*), SI_UNIT (.MILLI., .METRE.));
#142 = (NAMED_UNIT (*) PLANE_ANGLE_UNIT () SI_UNIT ($, .RADIAN.));
#143 = (NAMED_UNIT (*) SI_UNIT ($, .STERADIAN.)) SOLID_ANGLE_UNIT ();
#144 = UNCERTAINTY_MEASURE_WITH_UNIT (LENGTH_MEASURE (1.0E-005), #141,
'NONE', 'NONE');
#145 = (GEOMETRIC REPRESENTATION CONTEXT (3)
GLOBAL UNCERTAINTY ASSIGNED CONTEXT ((#144))
GLOBAL UNIT ASSIGNED CONTEXT ((#141, #142, #143))
REPRESENTATION_CONTEXT ('NONE', 'WORKSPACE'));
#146 = ADVANCED_BREP_SHAPE_REPRESENTATION ('Teil9', (#135, #147), #145);
#147 = AXIS2_PLACEMENT_3D ('NONE', #151, #152, #153);
#148 = EDGE_CURVE ('NONE', #9, #12, #136, .T.);
#148 = EDGE_CURVE ('NONE', #9, #12, #136, .T.);
#149 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #98, .F.);
#150 = VERTEX_POINT ('NONE', #140);
#151 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 0, 0));
#152 = DIRECTION ('NONE', (0, 0, 1));
#153 = DIRECTION ('NONE', (1, 0, 0));
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;
```

- Hinweis:
- Die Daten werden zeilenweise nummeriert, für die ausgewählte Fläche unnötige Zeilen wurden herausgelassen.
 - Die Koordinatenangaben wurden um 17 die Farbangaben um 13 Nachkommastellen gekürzt.

STEP: Dateiausschnitt nach BRep- Datenstrukturschema gegliedert

Volumen- Modell:



| | |
|------|--|
| FACE | <pre>#2 = ADVANCED_FACE ('NONE', (#32), #33, .T.); #32 = FACE_OUTER_BOUND ('NONE', #22, .T.); #33 = PLANE ('NONE', #34); #34 = AXIS2_PLACEMENT_3D ('NONE', #35, #36, #37); #35 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 50, 0)); #36 = DIRECTION ('NONE', (0, 0, -1)); #37 = DIRECTION ('NONE', (-1, 0, 0));</pre> |
|------|--|

| | |
|--------|---|
| LOOP | <pre>#22 = EDGE_LOOP ('NONE', (#149, #80, #134, #29));</pre> |
| COEDGE | <pre>#149 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #98, .F.); #98 = EDGE_CURVE ('NONE', #12, #150, #117, .T.); #80 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #148, .F.); #148 = EDGE_CURVE ('NONE', #9, #12, #136, .T.); #134 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #19, .F.); #19 = EDGE_CURVE ('NONE', #1, #9, #78, .T.); #29 = ORIENTED_EDGE ('NONE', *, *, #27, .F.); #27 = EDGE_CURVE ('NONE', #150, #1, #101, .T.);</pre> |

| | |
|----|---|
| L1 | <pre>#117 = LINE ('NONE', #118, #119); #118 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 0, 0)); #119 = VECTOR ('NONE', #120, 1000); #120 = DIRECTION ('NONE', (0, -1, 0));</pre> |
| L4 | <pre>#101 = LINE ('NONE', #102, #103); #102 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 0, 0)); #103 = VECTOR ('NONE', #104, 1000.); #104 = DIRECTION ('NONE', (1, 0, 0));</pre> |

| | |
|----|--|
| L2 | <pre>#136 = LINE ('NONE', #137, #138); #137 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 50, 0)); #138 = VECTOR ('NONE', #139, 1000); #139 = DIRECTION ('NONE', (-1, 0, 0));</pre> |
|----|--|

| | |
|----|---|
| L3 | <pre>#78 = LINE ('NONE', #81, #82); #81 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (100, 0, 0)); #82 = VECTOR ('NONE', #83, 1000); #83 = DIRECTION ('NONE', (0, 1, 0));</pre> |
|----|---|

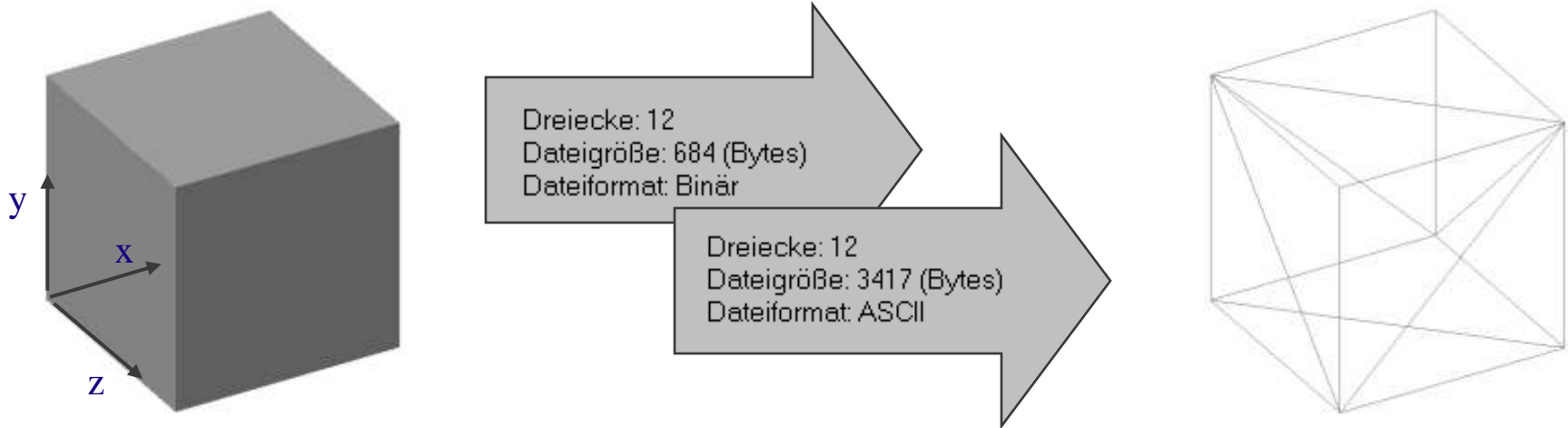
| | |
|----|---|
| P1 | <pre>#12 = VERTEX_POINT ('NONE', #63); #63 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 50, 0));</pre> |
| P3 | <pre>#9 = VERTEX_POINT ('NONE', #45); #45 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (100, 50, 0));</pre> |

| | |
|----|--|
| P2 | <pre>#150 = VERTEX_POINT ('NONE', #140); #140 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (0, 0, 0));</pre> |
| P4 | <pre>#1 = VERTEX_POINT ('NONE', #31); #31 = CARTESIAN_POINT ('NONE', (100, 0, 0));</pre> |

STL (*Stereolithographie Language* oder *Surface Triangulation Language*)

Die STL- Schnittstelle ist seit 1989 ein Quasi- Standard für den Datenaustausch im Bereich Rapid Prototyping. Die Modelle werden durch Dreiecke und deren Flächennormalen beschrieben (Facetted-Modell).

Beispiel: Umwandlung eines Würfels durch Export aus SolidWorks:



Ausschnitt aus der ASCII-Datei:

```
solid Part1
  facet normal -1.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000
    outer loop
      vertex 0.000000e+000 1.000000e+002 1.000000e+002
      vertex 0.000000e+000 1.000000e+002 0.000000e+000
      vertex 0.000000e+000 0.000000e+000 1.000000e+002
    endloop
  endfacet
  facet normal -1.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000
    outer loop
      vertex 0.000000e+000 0.000000e+000 1.000000e+002
      vertex 0.000000e+000 1.000000e+002 0.000000e+000
      vertex 0.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000
    endloop
  endfacet
  .....
  .....
endsolid
```

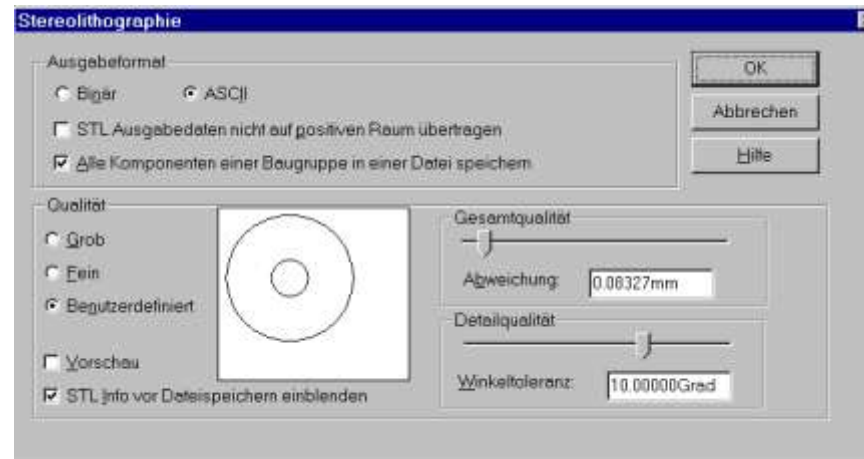
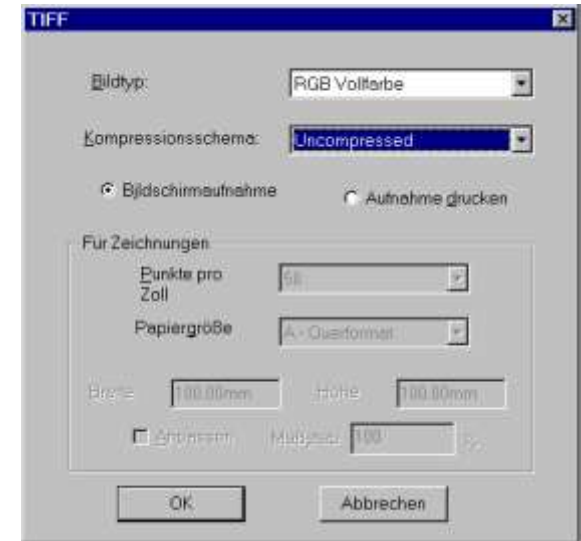
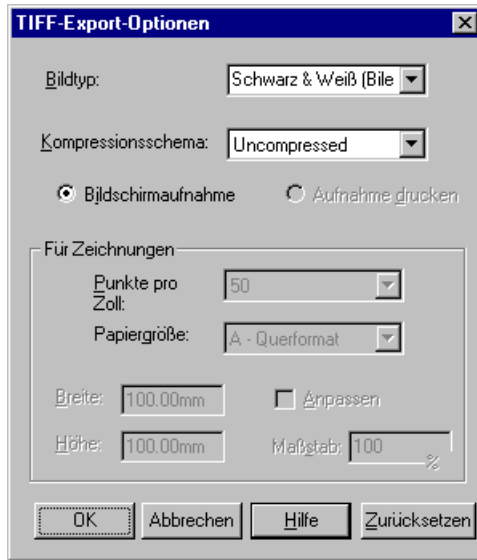
Import- und Exportformate in SolidWorks

| | Teile | | Baugruppen | | Zeichnungen | |
|-------------|--------|--------|------------|--------|-------------|--------|
| | Import | Export | Import | Export | Import | Export |
| IGES | √ | √ | √ | √ | | |
| Parasolid | √ | √ | √ | √ | | |
| STEP | √ | √ | √ | √ | | |
| ACIS | √ | √ | √ | √ | | |
| VDAFS | √ | √ | | | | |
| STL | | √ | | √ | | |
| DXF/ DWG | √ | | | | √ | √ |
| VRML | √ | √ | √ | √ | | |
| TIFF | * | √ | * | √ | | √ |

/ Dateischnittstellen

Exportoptionen in SolidWorks

Aufruf über: *Datei, Speichern, Typ wählen, Optionen*

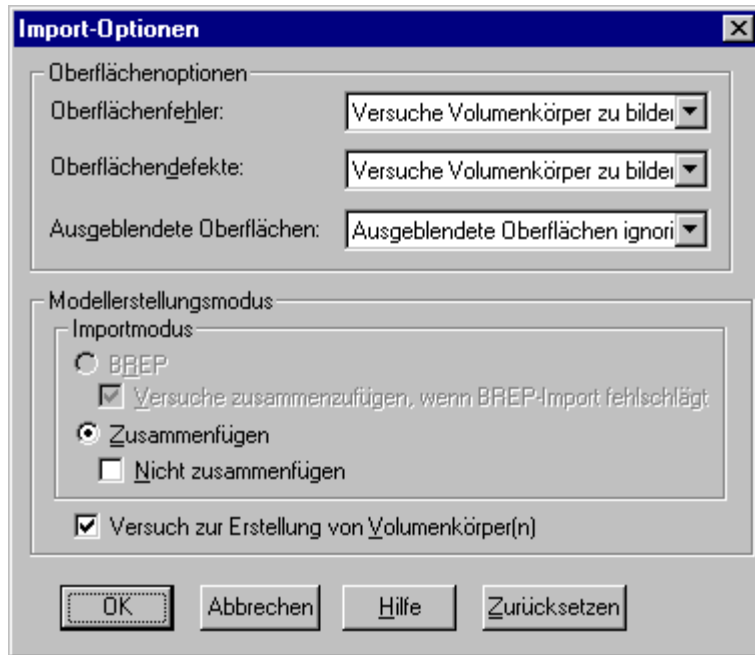


/ Dateischnittstellen

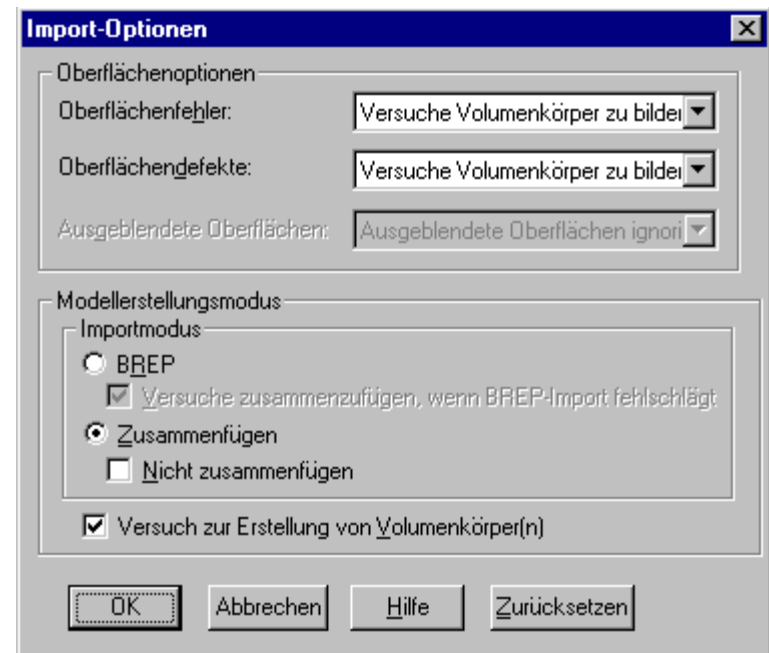
Importoptionen in SolidWorks

Aufruf über: *Datei, Öffnen, Typ wählen, Optionen*

Für IGES und VDA-FS:



Für STEP und ACIS:



| IGES-Elementtyp | Elementname |
|--|------------------------------------|
| 416 | External reference entity |
| 408 | Singular subfigure instance entity |
| 406 Form 12 | External reference file |
| 402 Form 7 | Group entity |
| 314 | Color definition entity |
| 308 | Subfigure definition entity |
| 144 | Trimmed (parametric) surface |
| 143 nur Import | Bounded Surface |
| 142 | Curve on a parametric surface |
| 140 nur Import | Offset surface |
| 128 | Rational B-spline surface |
| 126 | Rational B-spline curve |
| 124 | Transformation matrix entity |
| 122 | Tabulated cylinder |
| 120 | Surface of revolution |
| 118 nur Import | Ruled surface |
| 114 nur Import | Parametric spline surface |
| 112 | Parametric spline curve |
| 110 | Line |
| 106 Form 12 nur Import linear curve | Copious Data - 3D piecewise |
| 106 Form 11 nur Import linear curve | Copious Data - 2D piecewise |
| 104 nur Import | Conic arc |
| 102 | Composite curve |
| 100 | Circular arc |
| +# | |

Eigenschaften Export (Auswahl):

- Teile und Oberflächen behalten ihre Farbe
- Baugruppen können komplett in eine oder in einzelne Dateien geschrieben werden.
- Baugruppenhierarchien können auf eine Ebene reduziert werden.
- Es können einzelne Flächen, Oberflächen, Teile und Baugruppen exportiert werden.

Eigenschaften Import:

- importierte Oberflächen können für Basis-, Aufsatz-, Schnitt- oder Trimm-Features verwendet werden (*Einfügen, Oberfläche, Importiert*).
- eine Gruppe von importierten Oberflächen kann, sofern diese ein geschlossenes Volumen bilden, für ein Basis-Feature verwendet werden (*Datei, Öffnen *.igs*).
- importierte 3D-Kurven können für die Erstellung von Ebenen für Ansteckbeziehungen in Skizzen und als Pfad- und Leitkurven verwendet werden.

Eigenschaften Import und Export von STEP:

- Das AP 203 und das AP 214 werden für Import und Export unterstützt
- Farben von Flächen, Teile und Baugruppen werden unterstützt
- Flächen, Oberflächen, Teile und Baugruppen können exportiert werden
- Fehler beim Import werden in eine Fehlerdatei (*.err) geschrieben, die sich im gleichen Verzeichnis wie die importierte STEP-Datei befindet.
- Nur die Körpergeometrie und Topologie- Informationen werden aus einer AP214-STEP-Datei importiert. Die verbleibende AP214 Information in der STEP-Datei wird nicht berücksichtigt.

Eigenschaften Export von STL:

- Teile und Baugruppen können für den Transfer zu Rapid-Prototyping-Maschinen exportiert werden.
- Für das Ausgabeformat können die Optionen "Binär" oder "ASCII" gewählt werden
- Teile können ihre Position im globalen Koordinatensystem behalten
- Baugruppen können in eine einzige oder in einzelne Dateien exportiert werden
- Teile in Baugruppen sollten sich nicht überschneiden (vorab Interferenzprüfung)

Feature Recognition: FeatureWorks, Merkmale und Aufruf

- FeatureWorks ist eine SolidWorks DLL- Zusatzanwendung (Dynamic Link Library)
- Folgende Features werden erkannt:
 - Linear-Austragung-Features (Skizzengeometrie nur Linie, Kreis und Kreisbogen)
 - Rotations-Features mit konischer oder zylindrischer Form (wird Linear-Austragen-Feature und Fase)
 - Fasen auf linearen Kanten
 - Konstante Radiusverrundungen auf linearen und kreisförmigen Kanten
- Featureerkennung von Importkörpern folgender Formate:
 - IGES, STEP, Parasolid, SAT und VDA-FS
- Erkannte Features sind voll editierbar
- Features können automatisch und interaktiv erkannt werden
- Starten der Zusatzanwendung: Extras, Zusatzanwendungen, FeatureWorks mit einem Haken versehen
- Arbeitsablauf:
 - Teil importieren über "Datei, Öffnen, z.B. *.igs"
(“ImportiertXX“ muß im Feature-Baum als einziges Feature stehen)
 - Das “ImportiertXX“-Feature auswählen
 - Aufruf des Befehl “FeatureWorks, Feature-Erkennung“



/ Dateischnittstellen



Baugruppenfunktionen

- Baugruppen und deren Referenzen
- Verknüpfungen
- Explosionsansicht
- Darstellung von Teilen
- Modellierung im Kontext der Baugruppe
- Layout-Skizzen
- Zeitabhängige Features
- Vereinigen von Teilen

Bottom-Up-Design

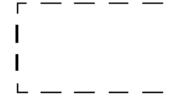
Bottom-Up-Design ist die traditionellere Methode der beiden. Beim Bottom-Up-Design erstellen Sie Teile, fügen sie in eine Baugruppe ein und verknüpfen sie wie durch Ihre Konstruktion erforderlich. Bottom-Up-Design ist die bevorzugte Methode bei der Verwendung von früher erstellten, fertigen Teilen.

Das Bottom-Up-Design hat den Vorteil, daß die Komponenten unabhängig voneinander erstellt werden. Ihre Beziehungen und das Verhalten beim Modellneuaufbau sind einfacher als beim Top-Down-Design. Das Arbeiten von unten nach oben ermöglicht es Ihnen, sich auf die einzelnen Teile zu konzentrieren. Diese Methode empfiehlt sich vor allem dann, wenn keine Referenzen zwischen Teilen erstellt werden müssen.

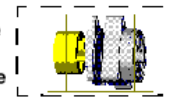
1. Erstellen Sie Teile



2. Erstellen Sie eine Baugruppe



3. Fügen Sie Teile ein, und verknüpfen Sie sie



Top-Down-Design

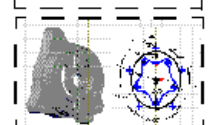
Das Top-Down-Design ist anders, denn Sie beginnen Ihre Arbeit in der Baugruppe. Sie können mit der Geometrie einer Komponente andere Komponenten definieren oder Schnitt- oder Bohrungs-Features erstellen, die erst dann hinzugefügt werden, wenn die Komponenten zusammengebaut sind. Sie können auch mit einer Layout-Skizze beginnen, fixierte Komponentenpositionen, Ebenen usw. definieren und danach die Teile entwerfen, die diese Definitionen referenzieren.

Sie können beispielsweise ein Teil in eine Baugruppe einfügen und anschließend eine Vorrichtung auf der Grundlage dieses Teils erstellen. Wenn Sie von oben nach unten arbeiten und die Vorrichtung *im Kontext* erstellen, können Sie Modellgeometrie referenzieren und dadurch die Bemaßungen der Vorrichtung steuern, indem Sie geometrische Beziehungen zum Ausgangsteil herstellen. Dadurch wird die Vorrichtung automatisch aktualisiert, wenn Sie eine Bemaßung des Teils ändern.

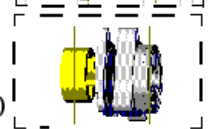
1. Erstellen Sie eine Baugruppe



2. Erstellen Sie Teile an Ort und Stelle



3. Erstellen Sie andere Teile (oder fügen Sie andere Teile ein)



Quelle: SolidWorks

- Hinzufügen von Komponenten mit Hilfe des Menüs



Einfügen, Komponente -> Bestehende(s) Teil/Baugruppe ...

- Hinzufügen von Komponenten durch Ziehen und Ablegen von einem offenen Dokumentfenster



Fenster nebeneinander, Drag & Drop ...

- Hinzufügen von Komponenten durch Ziehen und Ablegen vom geöffneten Windows Explorer aus



Fenster nebeneinander, Drag & Drop ...

- Hinzufügen von Komponenten durch Ziehen und Ablegen von einem Hyperlink im Internet Explorer aus



Fenster nebeneinander, Drag & Drop des Hyperlink, Speichern unter ...

Baugruppen – Referenzen

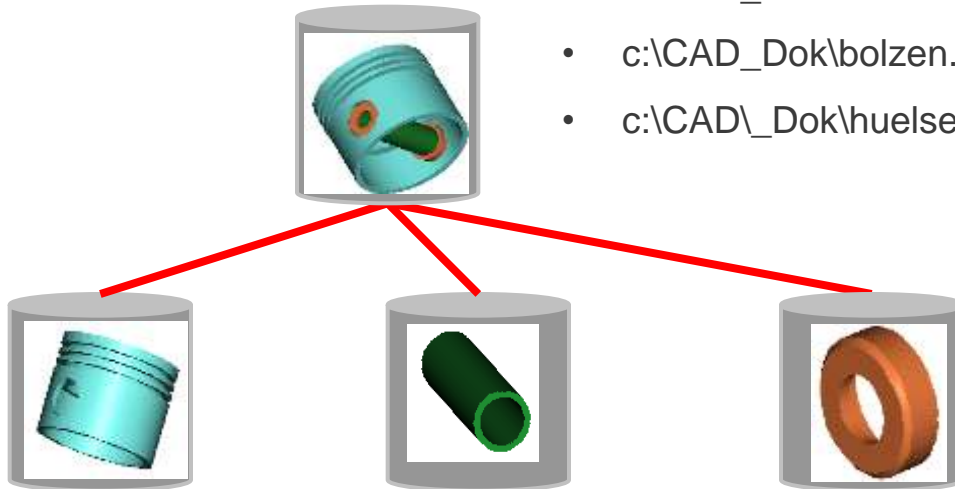
Baugruppe
(Assembly)

Teil
(Part)

Die Referenzierung erfolgt über den Dateinamen

Baugruppe: „c:\CAD_Dok\Kolben-BG.sldasm“

- c:\CAD_Dok\kolben.sldprt
- c:\CAD_Dok\bolzen.sldprt
- c:\CAD_Dok\huelse.sldprt



Baugruppenfunktionen: Speichern und Referenzen suchen

Im Menü Datei gibt es mehrere Möglichkeiten, ein Baugruppendokument zu speichern. Die aktuellen Positionen aller referenzierten Dateien (Teile und Unterbaugruppen) werden, unabhängig von der verwendeten Methode, mit dem Baugruppendokument verknüpft.

- Speicher-Möglichkeiten:
- Speichern
 - Speichern unter
 - Speichern unter, als Kopie speichern

Durch den Befehl “Datei, Referenzen suchen“ kann geprüft werden, welche Teil- und Unterbaugruppendateien in einer Baugruppe verwendet werden. Anschließend kann über “Suchergebnisse, Dateien kopieren, Verzeichnis wählen“ die Baugruppe in einem neuen Ordner komplett mit den Einzelteilen als Kopie unabhängig vom aktiven Dokument abgelegt werden.

| Beispiel: | | Gespeicherte Dateien | Aktive Baugruppe nach dem Speichern | Referenzierte Dateipositionen |
|---|--|---|-------------------------------------|--------------------------------|
| Baugruppendokument: - c:\test\Assem1 | Speichern | c:\test\Assem1 c:\test\PartB | c:\test\Assem1 | c:\test\PartA c:\test\PartB |
| Referenzierte Teildokumente: - c:\test\PartA; - c:\test\PartB (seit dem letzten Speichern geändert) | Speichern unter c:\final\Assem2 | c:\final\Assem2 c:\test\PartB | c:\final\Assem2 | c:\test\PartA c:\test\PartB |
| | Als Kopie speichern c:\final\Assem2 | c:\final\Assem2 c:\test\PartB | c:\test\Assem1 | c:\test\PartA c:\test\PartB |
| Auswirkungen der Speicherarten: | Referenzen suchen, dann Dateien kopieren in c:\final | c:\final\Assem1 c:\final\PartA c:\final\PartB | c:\test\Assem1 | c:\test\PartA c:\test\PartB |

Quelle: SolidWorks

Mit Hilfe von Verknüpfungen werden die Positionen zwischen den Komponenten einer Baugruppe definiert.

Verknüpfungen werden beschrieben durch geometrische Beziehungen zwischen geometrischen Elementen (Punkte, Kanten, Flächen) oder Features von zwei Komponenten.

Bsp.: Zwei planare Flächen können durch die Verknüpfung „deckungsgleich“ verbunden werden.

Durch Verknüpfungen werden Freiheitsgrade der relativen Bewegung zwischen Komponenten eingeschränkt.

Vorgehensweise: Die zu verknüpfenden Elemente werden ausgewählt und anschließend wird per „Einfügen -> Verknüpfung“ (RMT -> Verknüpfung) der Property Manager aufgerufen.

Verknüpfungen können analog zu Features unterdrückt werden.

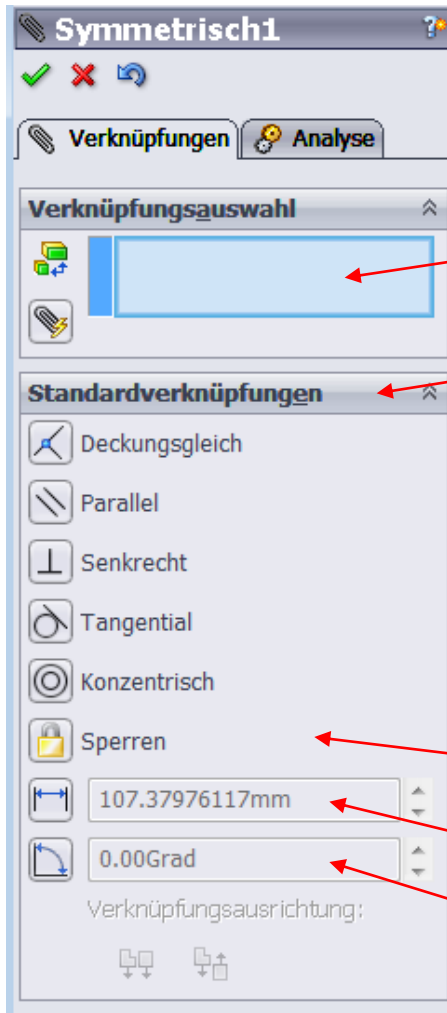
SolidWorks kennt drei Arten von Verknüpfungen:

- Standardverknüpfungen
- Erweiterte Verknüpfungen
- Mechanische Verknüpfungen

Baugruppenfunktionen: Standardverknüpfungen

Abhängig von den selektierten Elementen sind nur die möglichen Verknüpfungsarten auswählbar.

Bsp: Bei Auswahl von zwei planaren Flächen kann der Verknüpfungstyp „Deckungsgleich“ nicht ausgewählt werden.



Elemente für Verknüpfung

Gruppenfeld Standardverknüpfungen

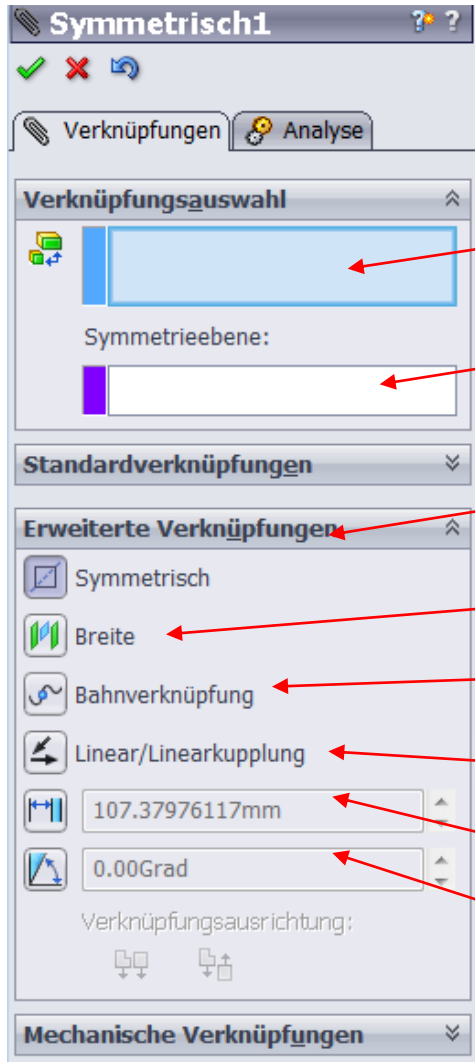
Sperrungen: Die Komponenten werden in der aktuellen Position „fixiert“

Abstandsverknüpfung

Winkelverknüpfung

Quelle: SolidWorks

Baugruppenfunktionen: Erweiterte Verknüpfungen



Elemente für Verknüpfung

Individuelle Referenzelemente

Gruppenfeld Erweiterte Verknüpfungen

Breite: Zentrierung innerhalb der Breite einer Nut

Bahnverkn.: Bewegung entlang einer Bahn (Kurve, Kantenzug, etc.)

Linearkupplung: Ermöglicht Zuordnung einer translatorischen Bewegung abhängig von der Bewegung einer Komponente

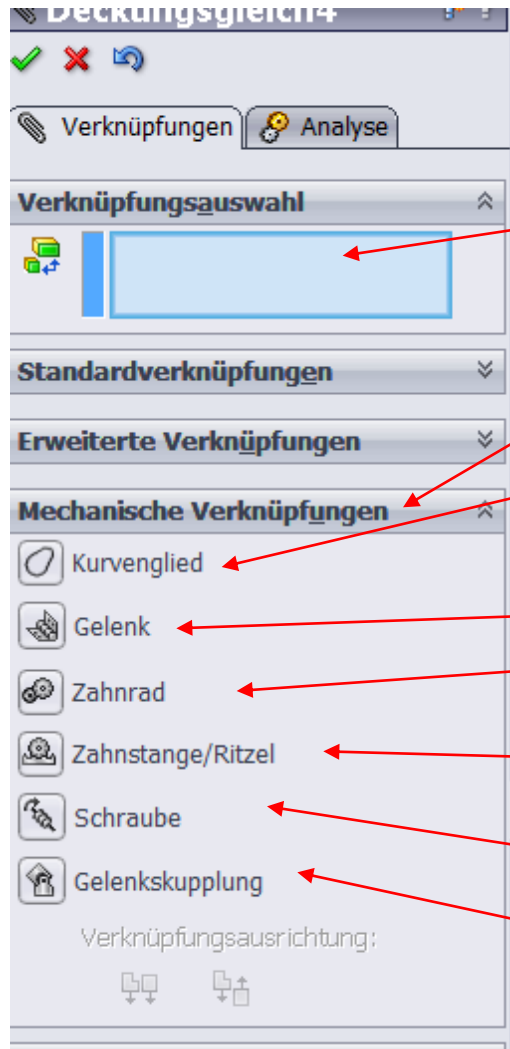
Abstandsverknüpfung (mit Angabe Maximal- und Minimalwert)

Winkelverknüpfung (mit Angabe Maximal- und Minimalwert)

Quelle: SolidWorks

Baugruppenfunktionen: Mechanische Verknüpfungen

Mechanische Verknüpfungen bilden die Beziehungen und Bewegungsmöglichkeiten vorgegebener Maschinenelemente z.B. einer Zahnradpaarung ab.



Elemente für Verknüpfung

Gruppfeld Mechanische Verknüpfungen

Kurvenglied: Zwingt einen Zylinder, eine Ebene oder einen Punkt, deckungsgleich oder tangential zu einer Serie von tangentialen linear ausgetragenen Flächen zu sein.

Gelenk: Kombiniert konzentrische und deckungsgleiche Verknüpfung.

Zahnrad.: Rotation zweier Komponenten um beliebige Achsen

Zahnstange/Ritzel: Ermöglicht Zuordnung einer translatorischen Bewegung abhängig von der Bewegung einer Komponente

Schraube (analog einem Schraubgetriebe)

Gelenkskupplung (Rotation durch System Antrieb- und Abtriebswelle)

Quelle: SolidWorks

Baugruppenfunktionen: Automatische, geometrie-gestützte Verknüpfungen

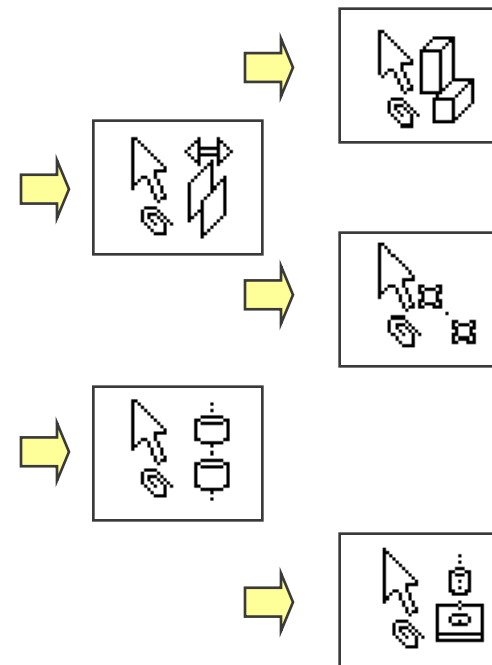
Verknüpfungen können automatisch beim Einfügen von neuen Teilen in Baugruppen erstellt werden. Dies erfolgt durch Auswahl bestimmter Modellgeometrie des neu einzufügenden Teils und **Ziehen** dieser **Geometrie** auf **eine passende Fläche** eines vorhandenen Baugruppentails.

- Mögliche Geometrielemente:
- lineare oder runde Kanten
 - temporäre Achsen
 - Eckpunkte
 - planare oder konische Flächen

Folgende Arten werden unterstützt:

| Verknüpfungselemente | Verknüpfungsart |
|--|---|
| Lineare Kante mit linearer Kante | deckungsgleich |
| Planare Fläche mit planarer Fläche | deckungsgleich |
| Eckpunkt mit Eckpunkt | deckungsgleich |
| Achse mit Achse Konische Fläche mit Achse Achse mit konischer Fläche Konische Fläche mit konischer Fläche | konzentrisch |
| Runde Kante mit runder Kante | deckungsgleich (planare Flächen) und konzentrisch (konische Flächen) |

Cursoransicht:



Quelle: SolidWorks

Verknüpfungen können automatisch zwischen konischen Features hinzugefügt werden, die eine “Stift-in-Bohrung“- Beziehung haben. Das eine Feature muss eine Basis oder ein Aufsatz sein, das andere eine Bohrung oder ein Schnitt. Die Features müssen eine passende Reihe von Flächen haben. Die konischen Flächen müssen beide von der gleichen Art sein (Kegel *oder* Zylinder). Weiterhin müssen planare Flächen vorhanden sein, die an die konischen Flächen grenzen. Vorgehensweise:

Ein **Feature** im Teilfenster auf das Baugruppenfenster ziehen und auf einer zylindrischen oder konischen **Fläche** ablegen.



=> Die Beziehung konzentrisch wird automatisch hinzugefügt.

=> Eine deckungsgleiche Beziehung wird zwischen den planaren Flächen je nach Konstruktionsweise des einzufügenden Teils eingefügt.

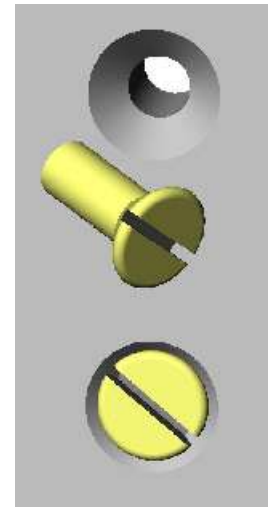
Beispiel:

Verknüpfung der zylindrischen Basis der Schraube mit der zylindrischen Bohrung:

=> planare Endfläche der Schraube wird mit planarer Fläche auf der Rückseite der Bohrung verknüpft.

Verknüpfung des konischen Aufsatzes der Schraube mit konischer Senkung der Bohrung:

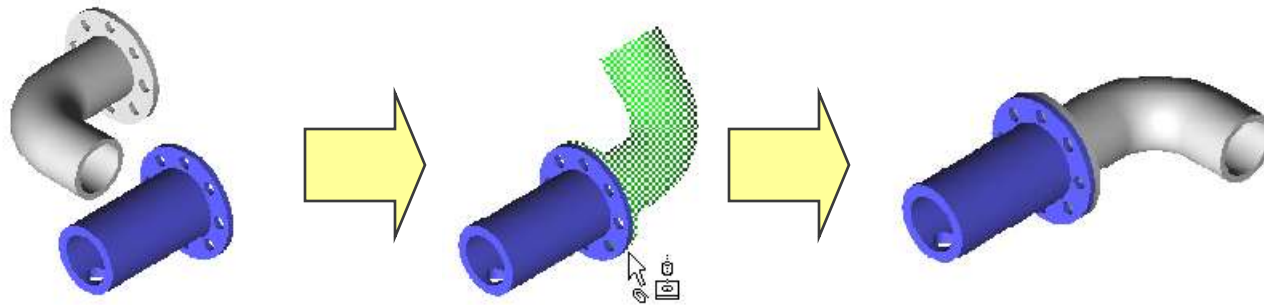
=> planare Kopffläche der Schraube wird mit planarer Fläche auf der Vorderseite der Bohrung verknüpft.



Baugruppenfunktionen: Automatische, muster-basierte Verknüpfungen

In bestimmten Fällen können bis zu drei Verknüpfungen automatisch eingefügt werden. Jede Komponente muß ein Kreismuster von zylindrischen Bohrungen auf einer planaren Fläche mit einer runden Kante haben.

Vorgehensweise: Ziehen der runden Kante im Teilefenster auf die runde Kante des Teils in der Baugruppe



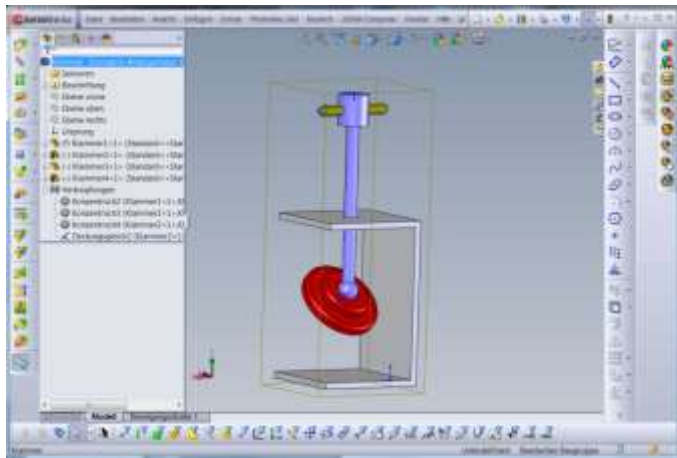
Die Verknüpfungen konzentrisch und deckungsgleich werden hinzugefügt. Falls möglich, wird eine weitere Verknüpfung vom Typ konzentrisch eingefügt, um ein Bohrungsmuster zu einem anderen Bohrungsmuster auszurichten.

Durch Drücken der Tabulator-Taste während des Einfügens kann die Richtung der deckungsgleichen Beziehung (ausgerichtet / gegenausgerichtet) umgeschaltet oder ein Rotieren des neuen Teils entsprechend der gesetzten konzentrischen Bedingung und in Schritten entsprechend des rotatorischen Musters erreicht werden.

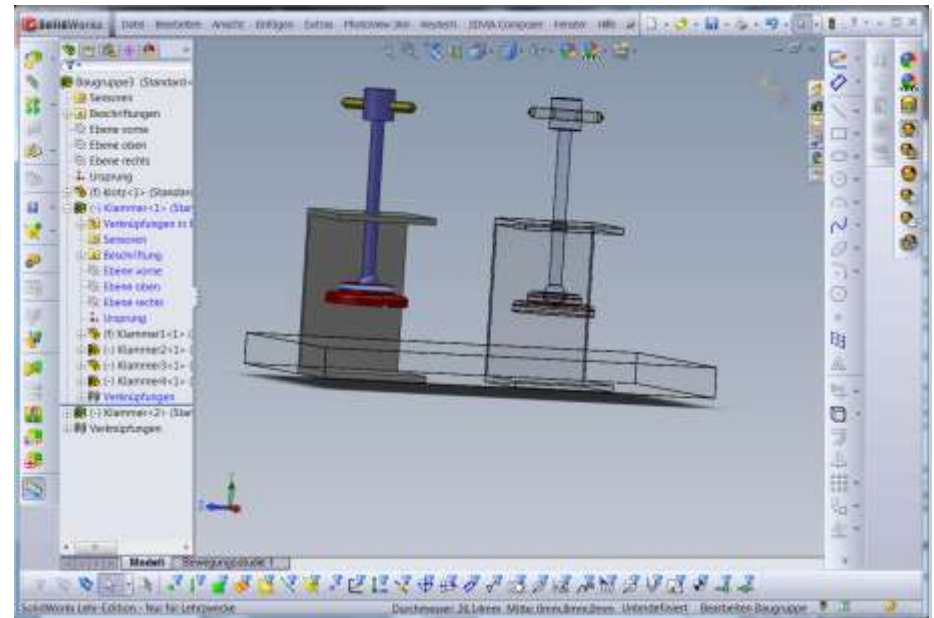
Baugruppenfunktionen: Flexible Unterbaugruppen

Werden in einer Baugruppe mehrere Komponenten einer selben Unterbaugruppe verwendet, so sind die Verknüpfungen der Unterbaugruppe standardmässig starr.

Eine Modifikation der Unterbaugruppe wirkt sich in allen Instanzen aus.



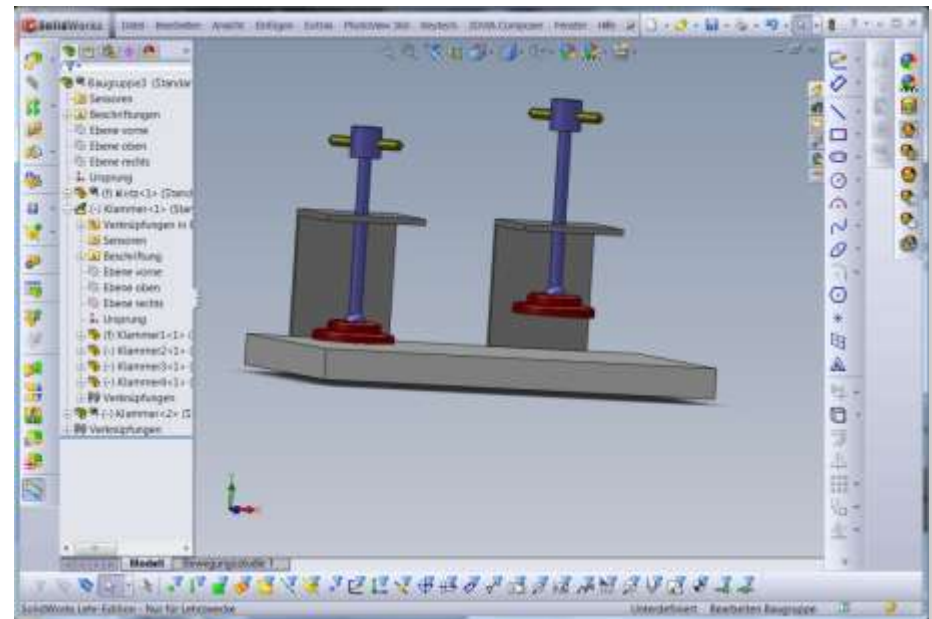
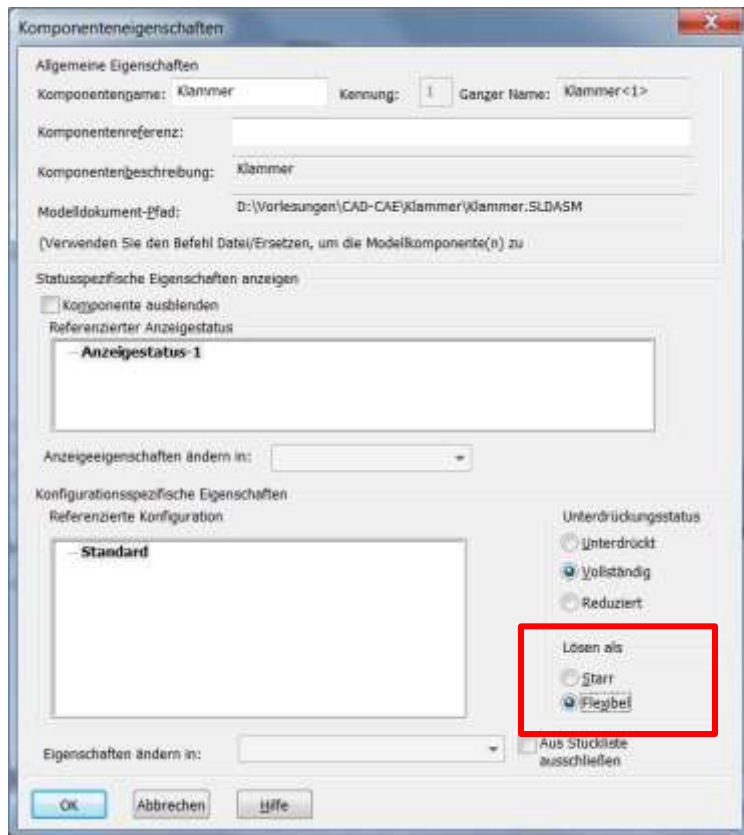
Baugruppe Klammer



Baugruppe Werkbank

Baugruppenfunktionen: Flexible Unterbaugruppen

Um die verschiedenen Instanzen separat modifizieren zu können, werden die Unterbaugruppen als „flexible Unterbaugruppen“ definiert. Dazu wird die Unterbaugruppe ausgewählt und das Dialogfeld Komponenteneigenschaften geöffnet.



Baugruppe Werkbank mit flexiblen Unterbaugruppen

Für Anschauungszwecke wie z.B. Bedienungsanleitungen kann es nützlich sein, Komponenten von Baugruppen aufzuspalten, um ihre Beziehungen visuell analysieren zu können.

Eine Explosionsansicht besteht aus einer oder mehreren Auflösungsstufen und wird im Baugruppendokument gespeichert.

Vorgehensweise: - Einfügen, Explosionsansicht: oder Symbol:

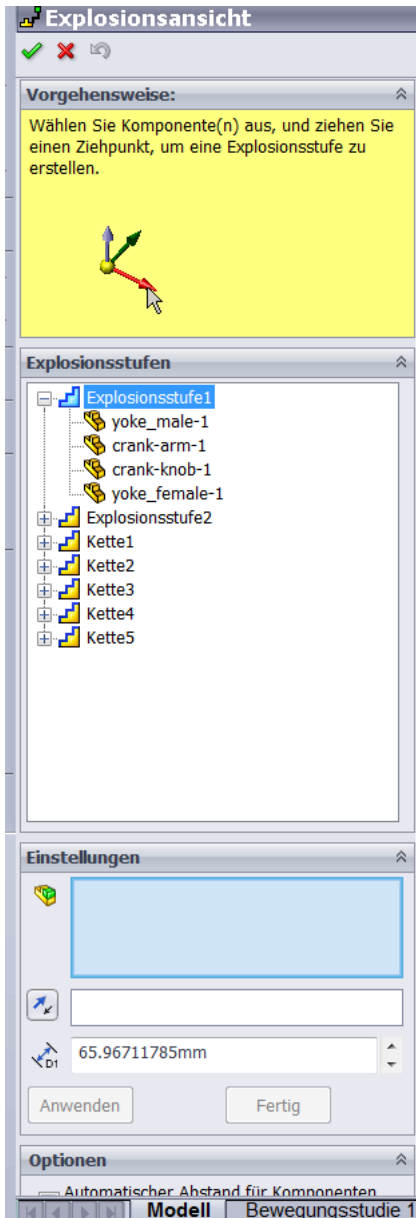


=> Im Konfigurationsmanager wird eine neue Konfiguration Explosionsansicht eingefügt, die anschließend editiert werden kann.


Es kann in jeder Konfiguration (nur) eine Explosionsansicht vorhanden sein.

Werden mehrere Explosionsansichten benötigt, sind weitere Konfigurationen zu erstellen.


Explosionsansichten: Vorgehensweise

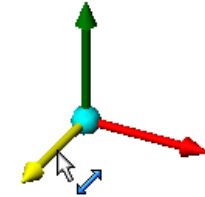


Erstellung einer Explosionsansicht:

1. Klicken Sie auf **Explosionsansicht**  (Baugruppen-Symboleiste), oder auf **Einfügen, Explosionsansicht**.

2. Wählen Sie eine oder mehrere Komponenten aus, die in die erste Explosionsstufe integriert werden sollen.

Im **PropertyManager** werden die Komponenten in **Komponente (n) der Explosionsstufe**  angezeigt. Eine Triade wird im Grafikbereich angezeigt.




3. Ziehen Sie einen Triadenarm, um die Komponenten aufzulösen.



Die Explosionsstufe wird unter **Explosionsstufen** eingeblendet.

4. Klicken Sie unter **Einstellungen** auf **Fertig**.

Der PropertyManager wird deaktiviert und ist für die nächste Explosionsstufe bereit.

5. Erstellen Sie nach Bedarf mehr Explosionsstufen, und klicken Sie auf .






Eine Explosionsansicht wird mit der Baugruppenkonfiguration gespeichert, in der sie erstellt wird. Jede Konfiguration kann über eine Explosionsansicht verfügen.

 Sie können eine Explosionsansicht aus der aktiven Konfiguration in eine andere Konfiguration kopieren, indem Sie **ExpView**  im ConfigurationManager ziehen. Sie können auf die Kopie der Explosionsansicht zugreifen, wenn Sie die zweite Konfiguration aktivieren.

Quelle: SolidWorks

Baugruppenfunktionen: Darstellung von Teilen

Möglichkeiten der Darstellung:

| | |
|---|---|
|  Teil 1<1> | Vollständig. Dies ist der einzige Unterdrückungsstatus, bei dem die Komponente aufgeklappt werden kann (doppelklicken Sie auf den Namen, oder klicken Sie auf ). |
|  Teil 1<1> | Reduziert. Eine Feder wird auf dem Symbol eines reduzierten Teils eingeblendet. |
|  Teil 1<1> | Unterdrückt. Ein graues Symbol zeigt an, daß die Komponente in der aktiven Konfiguration nicht verwendet wird. |
|  Teil 1<1> | Ausgeblendet. Ein weißes Symbol zeigt an, daß die Komponente aktiv, aber nicht sichtbar ist. |

Quelle: SolidWorks

Die Verwendung einer nicht vollständigen Darstellung dient zur Vereinfachung von komplexen Baugruppen. Hieraus ergeben sich mehrere Vorteile:

Verbesserung der Systemleistung und Verringerung der Zeit für den Modellneuaufbau.

Erstellung vereinfachter Ansichten der Baugruppe, die bestimmte Komponenten enthalten und andere ausschließen.

Erstellung von Konstruktionsvarianten der Baugruppe mit verschiedenen Kombinationen von Komponenten.

Darstellung von Baugruppen: Vergleich von Leistung und Verhalten

| | Vollständig | Reduziert | Unterdrückt | Ausgeblendet |
|---|-----------------|--------------------------|-------------|--------------|
| In Hauptspeicher geladen | ja | teilweise | nein | ja |
| Sichtbar | ja | ja ² | nein | nein |
| Features im FeatureManager verfügbar | ja | ja ³ | nein | nein |
| Flächen und Kanten zugriffsfähig, um Verknüpfungen hinzuzufügen | ja | ja ³ | nein | nein |
| Verknüpfungen gelöst | ja | ja | nein | ja |
| In-Kontext-Features gelöst | ja ¹ | ja ⁴ | nein | ja |
| Baugruppen-Features gelöst | ja | ja ⁴ | nein | ja |
| In globalen Operationen berücksichtigt | ja | nach Bedarf ² | nein | ja |
| Kann im Kontext bearbeitet werden | ja | ja ³ | nein | nein |
| Geschwindigkeit beim Laden und Modellneuaufbau | normal | schneller | schneller | normal |
| Anzeige-geschwindigkeit | normal | normal | schneller | schneller |



¹ In-Kontext-Features auf *vollständig dargestellten* Teilen, die reduzierte Teile *referenzieren*, werden automatisch aktualisiert.

² Zu globalen Operationen gehören Masseneigenschaften, Interferenzprüfung, nicht schattierte Ansichten, Schnittansichten und das Exportieren in andere Dateiformate. Wenn reduzierte Teile vorhanden sind, werden Sie vom Programm aufgefordert, sie entweder vollständig darzustellen oder die Operation abzubrechen.

³ Reduzierte Teile werden automatisch vollständig dargestellt, wenn sie für diese Operation ausgewählt werden.

⁴ Wenn In-Kontext-Features, Baugruppen-Features oder Gleichungen reduzierte Teile beeinflussen, werden diese vollständig dargestellt, wenn die Baugruppe neu aufgebaut wird.

Quelle: SolidWorks

Methoden

Sie können einige oder alle der folgenden Top-down-Methoden benutzen:

Individuelle Feature können Top-down konstruiert werden, indem sie auf andere Teile in der Baugruppe referenziert werden. In der Bottom-up-Konstruktion wird ein Teil in einem separaten Fenster, in dem nur das Teil sichtbar ist, erstellt. In SolidWorks können Sie jedoch auch Teile bearbeiten, während Sie in einem Baugruppenfenster arbeiten. Dies stellt die gesamte Geometrie der Komponente für Referenzen (z.B. zum Kopieren oder für Bemaßen) zur Verfügung. Diese Methode ist hilfreich für diejenigen Teile, die größtenteils statisch sind, die aber einige Feature haben, die mit anderen Baugruppenkomponenten gleiche Schnittstellen haben.




Komplette Teile können mit Top-down-Methoden gebaut werden, indem neue Komponenten innerhalb des Kontext der Baugruppe erstellt werden. Die Komponente, die Sie bauen, ist mit einer existierenden Komponente in der Baugruppe verbunden (verknüpft). Die Geometrie der Komponente, die Sie bauen, basiert auf einer existierenden Komponente. Diese Methode ist für Teile nützlich, die zu einem großen Teil, bzw. vollständig von anderen Teilen abhängig sind, um ihre Form und Größe zu definieren, wie z.B. Klammern und Befestigungen.

Sie können ebenso eine ganze Baugruppe Top-down konstruieren, indem Sie zuerst eine **Layout-Skizze** erstellen, die die Position der Komponenten, Schlüsselbemaßungen, etc. definiert. Dann bauen Sie ein 3D-Teil, indem Sie eine der oben angeführten Methoden nutzen, so dass die 3D-Teile den Vorgaben der Skizze für Größe, Position, etc. folgt. Die Schnelligkeit und Flexibilität der Skizzen erlaubt es Ihnen, mehrere Versionen der Konstruktion auszuprobieren bevor Sie eine 3D-Geometrie aufbauen. Selbst nachdem Sie die 3D-Geometrie aufgebaut haben, können Sie mit der Skizze eine große Anzahl von Änderungen in einer zentralen Stelle durchführen.

Quelle: SolidWorks



Baugruppenfunktionen: Top-Down-Design

Vorgehensweise : Erzeugen eines neuen Teils im Kontext der Baugruppe durch Befehl:
Einfügen, Komponente, Neu


1. Klicken Sie auf **Neues Teil**  (Baugruppen-Symbolleiste), oder auf **Einfügen, Komponente, Neues Teil**.
2. Geben Sie für extern gespeicherte Teile einen Namen für das neue Teil in das Dialogfeld **Speichern unter**, und klicken Sie auf **Speichern**.
3. Wählen Sie eine Ebene oder planare Fläche aus (während der Cursor   ist).


Die Bearbeitung des Fokus wechselt zum neuen Teil, und eine Skizze wird im neuen Teil geöffnet. Eine **platzierte** (deckungsgleiche) Verknüpfung wird zwischen der Ebene **Vorne** des neuen Teils und der ausgewählten Ebene oder Fläche hinzugefügt. Das neue Teil wird durch die **platzierte** Verknüpfung voll positioniert. Zur Positionierung sind keine zusätzlichen Verknüpfungen notwendig. Wenn Sie die Komponente neu positionieren möchten, müssen Sie die **platzierte** Verknüpfung zuerst löschen.


Das neue Teil wird im FeatureManager eingeblendet. Extern gespeicherte Teile werden mit einem Namen mit der Form **Teiln.** angezeigt. Virtuelle Komponenten werden mit einem Namen mit der Form **[Teiln^Baugruppenname]**. angezeigt.

 Bei intern gespeicherten Teilen können Sie anstatt eine Ebene auszuwählen auf eine leere Stelle im Grafikbereich (während der Cursor  ist) klicken. Ein leeres Teil wird der Baugruppe hinzugefügt. Sie können die leere Teildatei bearbeiten oder öffnen und Geometrie erstellen. Der Ursprung des Teils ist mit dem Ursprung der Baugruppe deckungsgleich, und die Teilposition ist **fixiert**.

4. Erstellen Sie die Teil-Features mit denselben Methoden, die Sie verwenden, wenn Sie ein Teil allein erstellen. Referenzieren Sie nach Bedarf die Geometrie von anderen Komponenten in der Baugruppe.

 Wenn Sie ein Feature mit der Option **Bis nächste** linear austragen, muss sich die *nächste* Geometrie an demselben Teil befinden. Verwenden Sie **Bis Oberfläche** zum linearen Austragen bis zu einer Oberfläche einer anderen Komponente in der Baugruppe verwendet werden.

5. Um zur Bearbeitung der Baugruppe zurückzukehren, klicken Sie, um **Komponente bearbeiten**  (Baugruppen-Symbolleiste) zu

deaktivieren, oder klicken Sie auf  in der Bestätigungsecke.

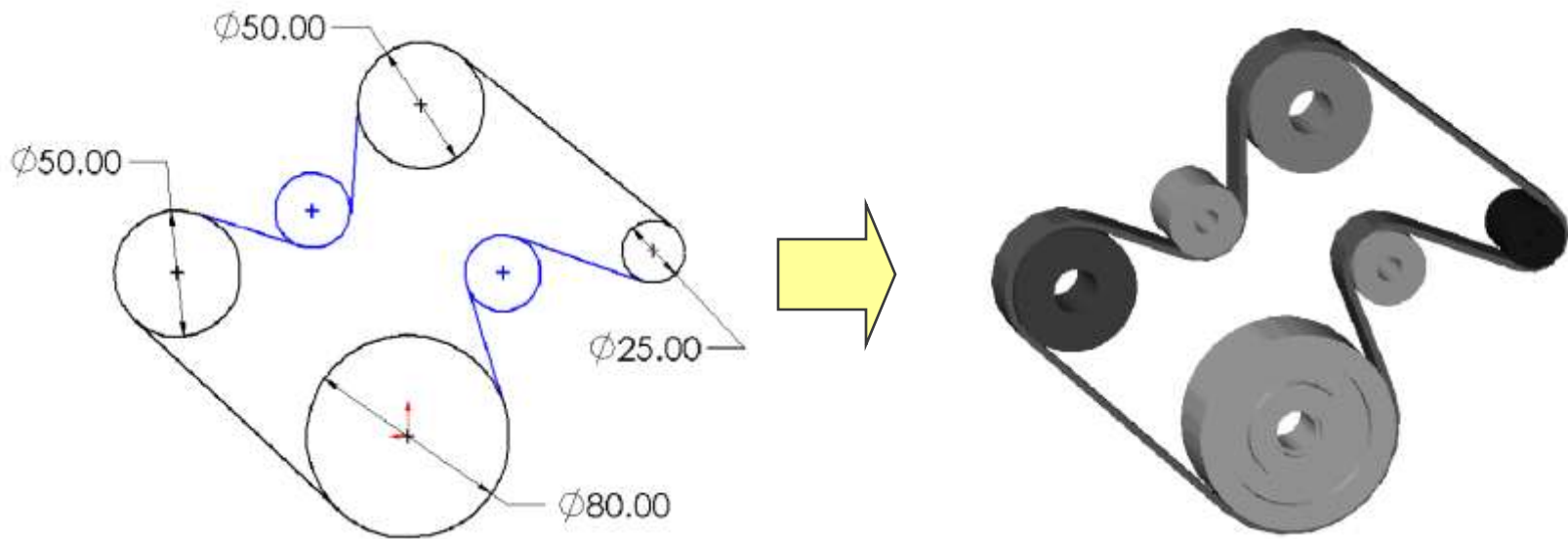
Quelle: SolidWorks

Top-Down-Design: Layout-Skizze

Vor der Erstellung eines Teils im Kontext der Baugruppe kann eine Layout-Skizze erzeugt werden, die dazu dient, die Position und Form der anschließend neu zu erstellenden Teile über Beziehungen zwischen den Teil-Skizzen und der Layout-Skizze (z.B. koradial bei Kreisen) festzulegen.

Vorteil: Durch Änderung der Layout-Skizze kann das Aussehen der gesamten Baugruppe in einem Arbeitsgang verändert werden, ohne dass die Einzelteile einzeln angefasst werden müssen.

Beispiel: Erstellung eines Riementriebes über eine Layout-Skizze:

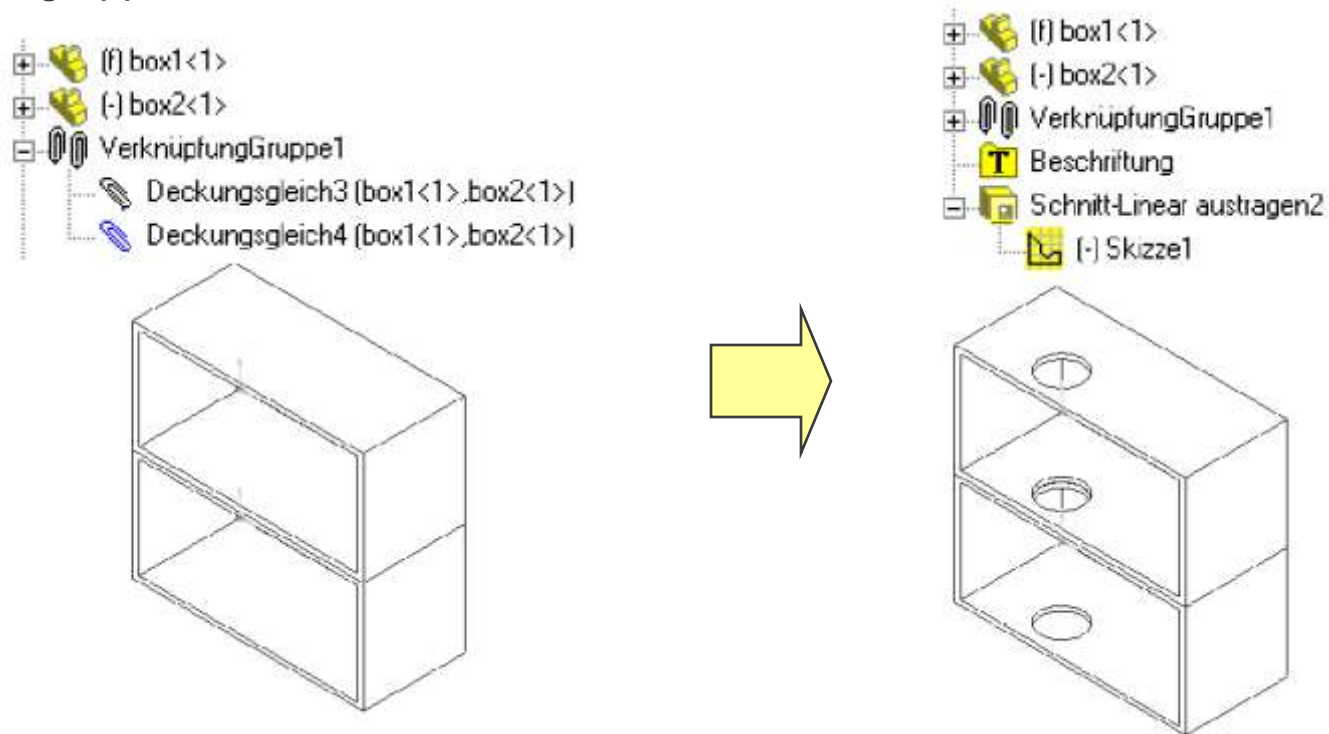


Baugruppenfunktionen: Zeitabhängige Features (1)

Zu den zeitabhängigen Features gehören:

- Baugruppen-Features: Baugruppen-Schnitte, Bohrungen und Schweißnähte
- Baugruppenebenen, -achsen und -skizzen
- Baugruppenkomponentenmuster

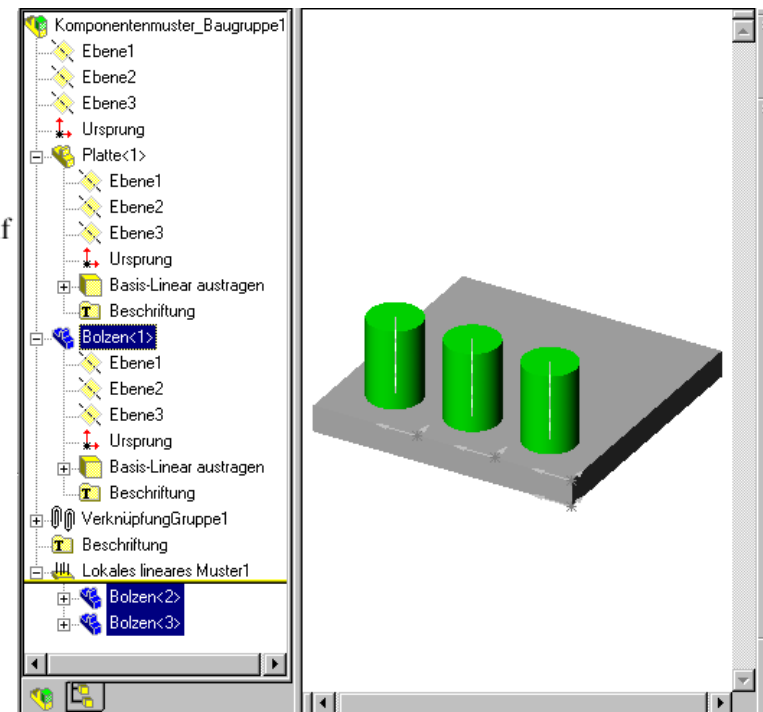
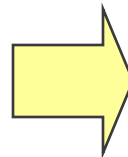
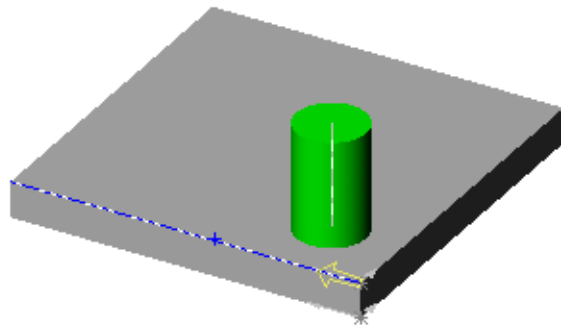
Beispiel: Baugruppen-Schnitt



Hinzufügen eines Komponentenmusters:

1. Definieren eines neuen Musters für die Platzierung von Komponenten in einer Baugruppe

- 1 Fügen Sie Komponenten in eine Baugruppe ein, und verknüpfen Sie sie.
- 2 Klicken Sie auf **Einfügen, Komponentenmuster**.
- 3 Klicken Sie im Dialogfeld **Mustertyp** auf **Eigenes Muster definieren**, wählen Sie **Linear** oder **Kreisförmig**, und klicken Sie auf **Weiter**.
- 4 Klicken Sie auf die **Ausgangskomponente** (die zu kopierende Komponente).
- 5 Klicken Sie auf das Feld **Entlang Kante/Bemaßung**, wählen Sie ein Element, um die Musterrichtung anzuzeigen, und klicken Sie bei Bedarf auf **Richtung umkehren**.
 - Wählen Sie bei einem linearen Muster eine lineare Kante oder eine lineare Bemaßung.
 - Wählen Sie bei einem Kreismuster eine Achse, eine lineare Kante oder eine Winkelbemaßung.
- 6 Bestimmen Sie den **Abstand** und die **Referenzierten Kopien**, und klicken Sie auf **OK**.



Quelle: SolidWorks


/ Baugruppenfunktionen


Hinzufügen eines Komponentenmusters:

2. Verwenden von bestehenden Mustern für die Platzierung von Komponenten in einer Baugruppe

Bestehendes Muster zur Erstellung eines Musters von Komponenten verwenden:

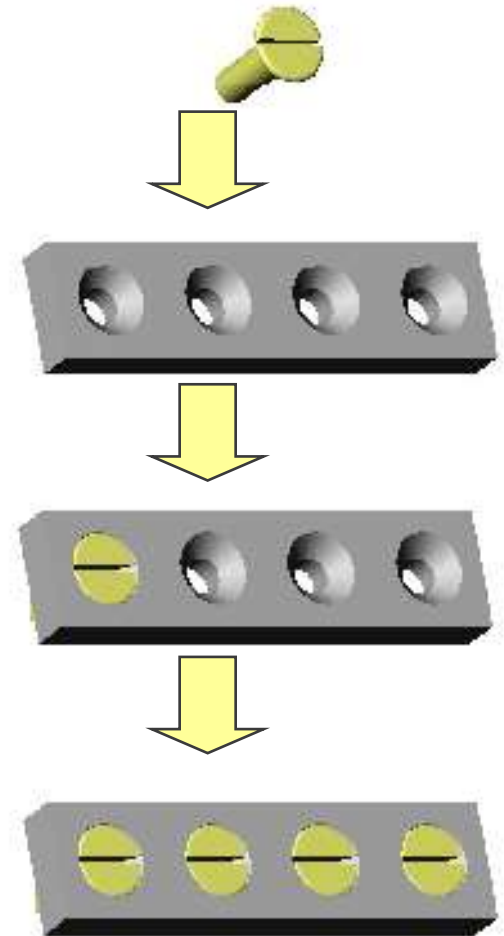
1. Klicken Sie auf **Einfügen, Komponentenmuster, Feature-gesteuert**.
2. Wählen Sie die Ausgangskomponenten für **Komponenten für Muster** aus.
3. Klicken Sie in **Steuerndes Feature**, und wählen Sie das Muster-Feature im FeatureManager oder eine Fläche der referenzierten Kopien des Musters im Grafikbereich aus.
4. Um die Ausgangsposition zu ändern, klicken Sie auf **Ausgangsposition auswählen**, um wählen Sie eine andere referenzierte Musterkopie als Ausgangs-Feature im Grafikbereich aus.
5. Um ausgewählte referenzierte Kopien zu überspringen, klicken Sie in das Feld **Zu umgehende referenzierte Kopien**, und wählen Sie die Vorschau der referenzierten Kopie im Grafikbereich aus.

Der Cursor ändert sich zu , wenn er sich über einer Vorschau im Grafikbereich befindet.

6. Klicken Sie auf .

Die neuen Komponenten werden im FeatureManager unter **Abgeleitetes lineares Muster** oder **Abgeleitetes Kreismuster** eingeblendet.

Standardmäßig wird bei allen referenzierten Kopien dieselbe Konfiguration wie bei den Ausgangskomponenten verwendet. Um die Konfiguration zu wechseln, bearbeiten Sie die Komponenteneigenschaften der referenzierten Kopie.

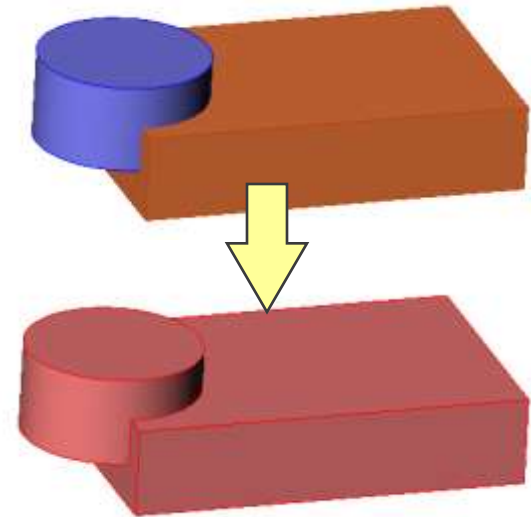


Quelle: SolidWorks

Vorgehensweise für Addition:

- Grundkörper erstellen und in der Baugruppe so positionieren, dass sie sich zumindest mit einer Fläche berühren bzw. durchdringen
- Ein neues, leeres Teil in die Baugruppe einfügen
- Das neue leere Teil bearbeiten
- *Einfügen, Feature, Vereinigen* ausführen
- Die gewünschten Komponenten wählen und abschließen

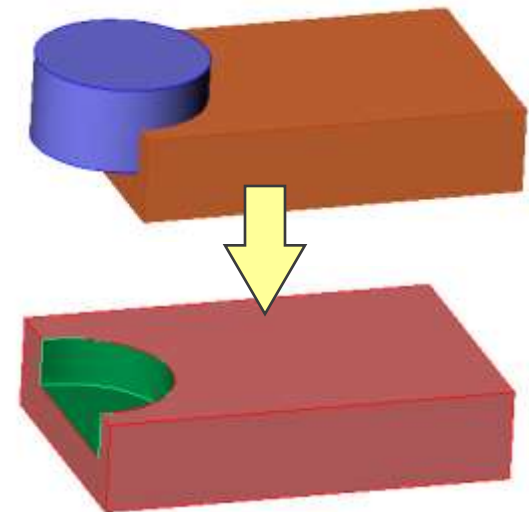
Anschließend kann das Teil in der Baugruppe weiterbearbeitet werden.



Vorgehensweise für Subtraktion:

- Grundkörper erstellen und in der Baugruppe so positionieren, dass sie sich durchdringen
- den Werkstückkörper bearbeiten
- *Einfügen, Feature, Formnest* ausführen
- Die gewünschten Werkzeugkörper wählen, die vom Werkstück abgezogen werden sollen
- Den Skalierungsfaktor auf 0 stellen (keine Schrumpfung/Offset) und abschließen
- Den / die Werkzeugkörper ausblenden

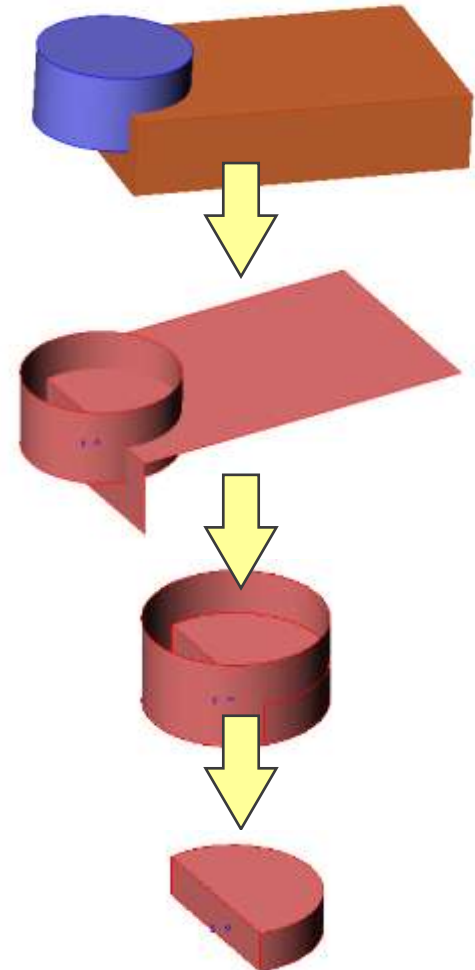
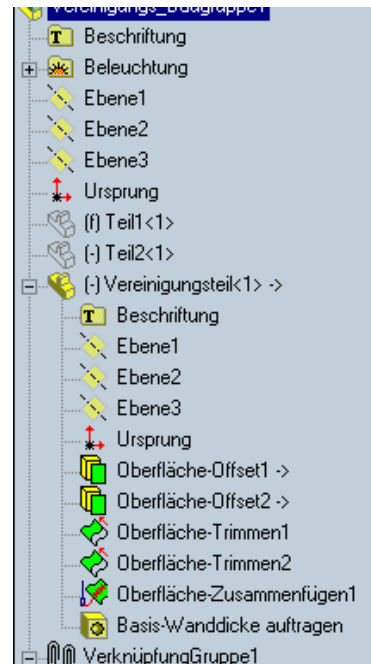
Anschließend kann das Teil in der Baugruppe weiterbearbeitet werden.



Vorgehensweise für Schnitt:

- Grundkörper erstellen und in der Baugruppe so positionieren, dass sie sich durchdringen
- Ein neues, leeres Teil in die Baugruppe einfügen
- Das neue leere Teil bearbeiten
- Oberflächen von den Grundkörpern über Einfügen, Oberfläche, Offset (Abstand 0) abnehmen
- Die Ursprungskörper ausblenden
- Die sich durchdringenden Oberflächen gegenseitig trimmen
- Über *Einfügen, Oberfläche, Zusammenfügen* eine geschlossene Flächenschale erstellen
- Über *Einfügen, Basis, Wanddicke auftragen* mit Option *Volumenkörper über zusammengesetzte Oberfläche erzeugen*

Anschließend kann das Teil in der Baugruppe weiterbearbeitet werden.





Bewegungssimulation in SolidWorks



Bewegungsstudien sind grafische Simulationen von Bewegungen für Baugruppenmodelle.

Visuelle Eigenschaften wie Beleuchtung und Kameraperspektive können in eine Bewegungsstudie integriert werden.

Bewegungsstudien ändern ein Baugruppenmodell oder seine Eigenschaften nicht.

Es können Simulationen und Animationen erstellt werden. Animationen können als Video-Dateien (z.B. AVI) gespeichert und weiter gegeben werden.

Die Bewegungen von Komponenten einer Baugruppe können mit Hilfe von Verknüpfungen begrenzt werden.

Bewegungsstudien werden mit Hilfe des **MotionManager** erstellt und bearbeitet.

In SolidWorks stehen drei Arten von Bewegungsstudien zur Verfügung:

- Bewegungssimulation (SolidWorks-Hauptprodukt)
- Basisbewegung (SolidWorks-Hauptprodukt)
- Bewegungsanalyse (SolidWorks Motion; enthalten in SolidWorks Premium)

Die verschiedenen Arten der Bewegungsstudien unterscheiden sich in der Qualität der Simulation einerseits und der Performance andererseits. Es ist daher im Vorfeld abzuwägen, welche Art von Bewegungsstudie erstellt wird.

Bewegungssimulation

- Bewegung von Teilen kann mit Hilfe von **Motoren** gesteuert werden. (Linear- und Rotationsmotoren)
- **Schlüsselpunkte** definieren die Position von Komponenten auf der Zeitachse. Die Bewegung wird durch Interpolation zwischen Schlüsselpunkten definiert.

Geeignet für einfache Simulationen (z.B. Präsentationen)

Basisbewegung

- Motoren definieren die Bewegung.
- Bei der Berechnung der Bewegung werden **Masse, Federn, Kontakt** und **Schwerkraft** berücksichtigt.
- Berechnung erfolgt relativ schnell

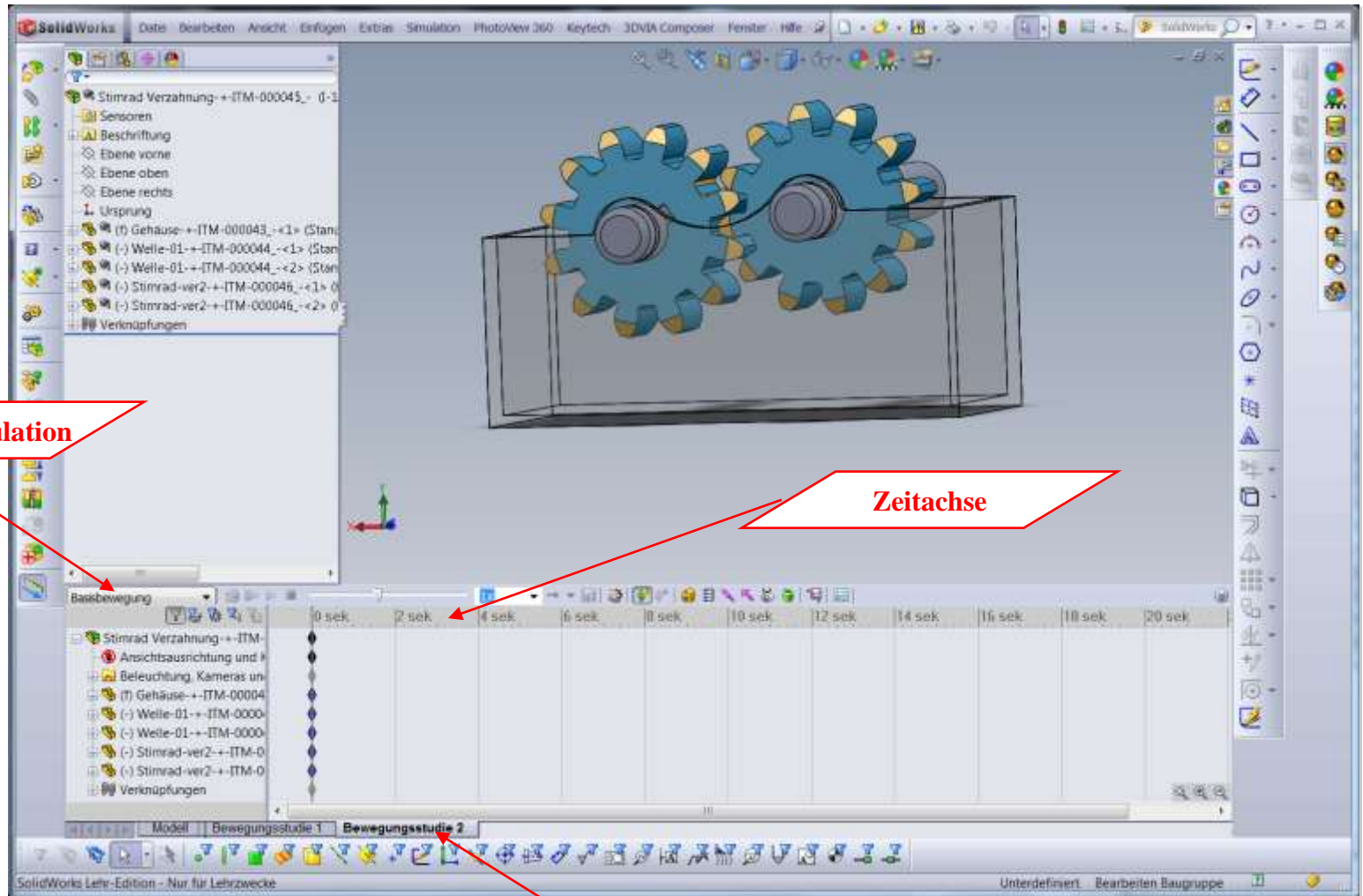
Geeignet für Simulationen, wenn Masse, Kollisionen oder Schwerkraft berücksichtigt werden müssen.
Ergebnisse liefern ungefähre Simulation

Bewegungsanalyse

- Berechnung der Bewegung mit Hilfe von kinematischen Solvern.
- Berücksichtigung von: **Kräfte, Federn, Dämpfung, Reibung, Materialeigenschaften, Masse, Trägheit**
- Rechenzeit relativ hoch

Simulation unter Berücksichtigung physikalischer Bedingungen. Ermöglicht z.B. Analyse von Stoßvorgängen oder Reaktionen auf Krafteinwirkungen.

Bewegungssimulation - MotionManager



Typ der Simulation

Zeitachse

MotionManager

Ansichtsausrichtung

Beleuchtung, Kameras

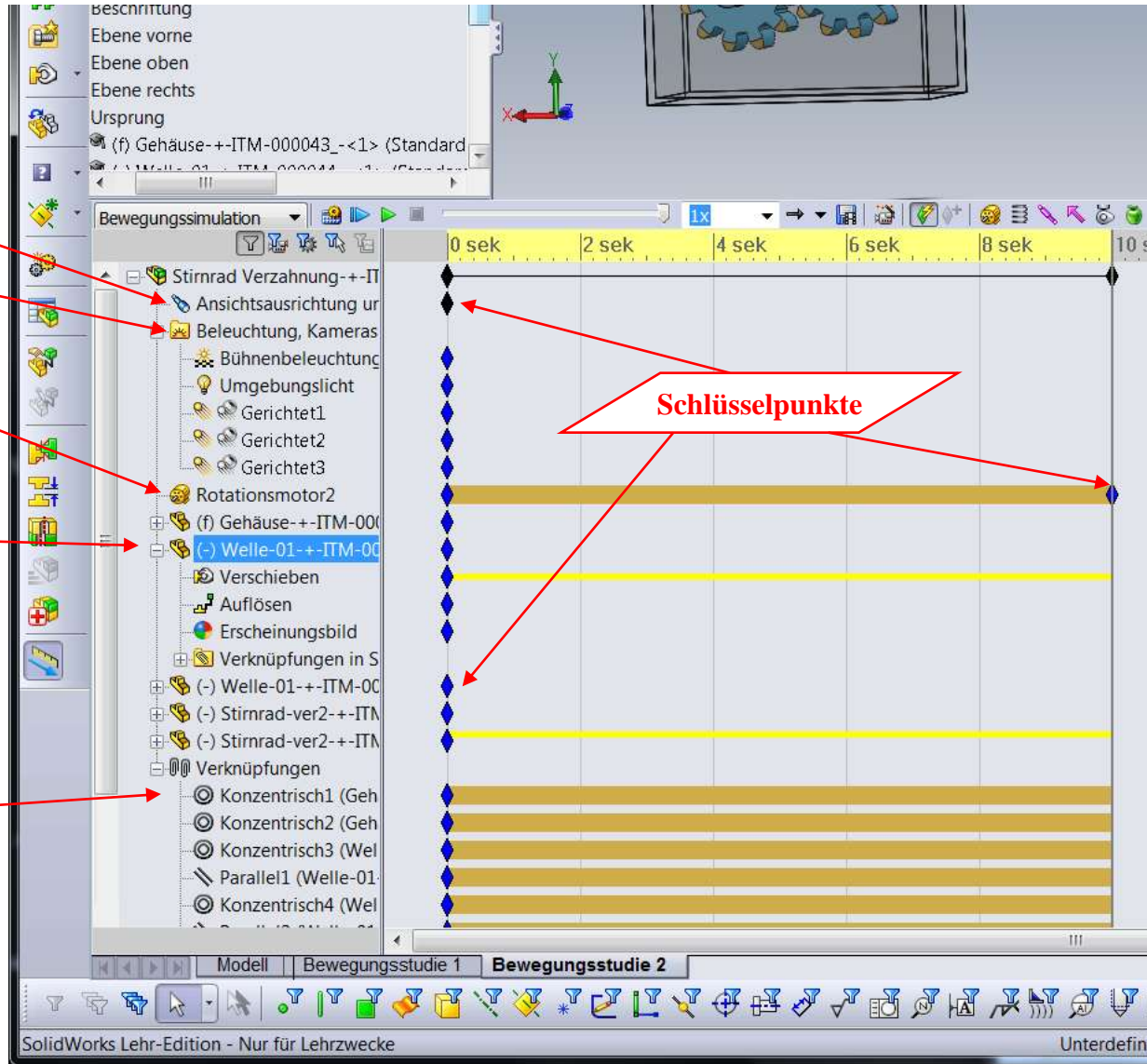
Simulations-Elemente

(Motoren, Federn, Kräfte etc.)

SW Modell-Komponenten

- Verschieben
- Auflösen
- Erscheinungsbild










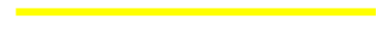

















Verknüpfungen



Jedes Strukturelement des MotionManager kann zeitabhängig manipuliert werden.



















Allgemein werden auf der Zeitleiste Schlüsselpunkte eingefügt, welche einen konkreten Status definieren.

Zwischen zwei Schlüsselpunkten wird die jeweilige Zustandsänderung kontinuierlich ausgeführt.

| Symbol und Änderungsleiste | Funktion der Änderungsleiste |
|---|--|
|   | Gesamtdauer der Bewegungssimulation |
|   | Ansichtsausrichtung und Kameraansicht |
|   | "Deaktiviert die Wiedergabe von Ansichtsschlüsseln" ist ausgewählt |
|   | Steuernde Bewegung |
|   | Gesteuerte Bewegung |
|   | Explosionsansicht |
|   | Erscheinungsbild |
|   | Verknüpfungsbemaßung |
|   | Beliebige Komponente oder Verknüpfungsschlüssel |
|   | Beliebiger unterdrückter Schlüssel |
|   | Position noch nicht gelöst |
|   | Position kann nicht erreicht werden |
|  | Fehlschlag des Bewegungs-Solvers |
|   | Verdeckte untergeordnete Elemente |

Quelle: SolidWorks

Bewegungssimulation – MotionManager Symbole

| Symbol und Änderungsleiste | Funktion | Bezugshinweise |
|--|---|---|
|  | Gesamtdauer der Bewegungssimulation | |
|  | Ansichtsausrichtung und Kameraansicht | Dauer dieser Ansichtsausrichtung . |
|  | "Deaktiviert die Wiedergabe von Ansichtsschlüsseln" ist ausgewählt | |
|  | Simulationselemente | |
|  | Erscheinungsbild | Erscheinungsbild: <ul style="list-style-type: none"> Enthält alle visuellen Eigenschaften (Farbe, Transparenz usw.). Kann unabhängig von Komponentenbewegung. |
|  | Steuernde Bewegung | Änderungsleisten von Steuernder Bewegung und Gesteuerter Bewegung können eine Erscheinungsbild-Änderungsleiste zwischen denselben Schlüsselpunkten beinhalten.  Komponenten der Änderungsleiste Gesteuerte Bewegung können in Bewegung sein oder feststehen: <ul style="list-style-type: none"> Bewegung |
|  | Gesteuerte Bewegung | <ul style="list-style-type: none"> Keine Bewegung  |
|  | Explosionsansicht | Erstellt mit dem BewegungssimulationsAssistenten . |
|  | Komponenten- oder Feature-Eigenschaftenänderungen, wie Verknüpfungsbemaßungen | Schlüsselpunkte. |
|  | Haupteigenschaft des Features | |
|  | Beliebiger unterdrückter Schlüssel | |
|  | Position noch nicht gelöst | |
|  | Position kann nicht erreicht werden | |
|  | Verdeckte untergeordnete Elemente | <ul style="list-style-type: none"> Im SolidWorks FeatureManager erstellte Ordner Zusammengeklappte Elemente |
|  | Aktives Feature | Beispiel: Eine Verknüpfung wird für einen Zeitraum unterdrückt.  |

Quelle: SolidWorks



Simulation in SolidWorks



Grundlagen – FEM

(Finite Elemente Methode)

Im Zusammenhang mit CAE / Produktentwicklung wird unter Simulation ganz allgemein die Vorhersage von **Produkteigenschaften** verstanden, wobei für die Simulation auf ein virtuelles Modell des Produktes zurückgegriffen wird.

Gegenüber Tests mit realen Prototypen haben Simulationen für die Produktentwicklung entscheidende Vorteile, so dass sie in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt werden.

Vorteile:

- Kosten sind in der Regel niedriger als bei einem echten Prototypen.
- Simulationen können zu einem frühen Zeitpunkt in der Produktentwicklung eingesetzt werden. Änderungen / Optimierungen sind mit relative geringem Aufwand möglich.

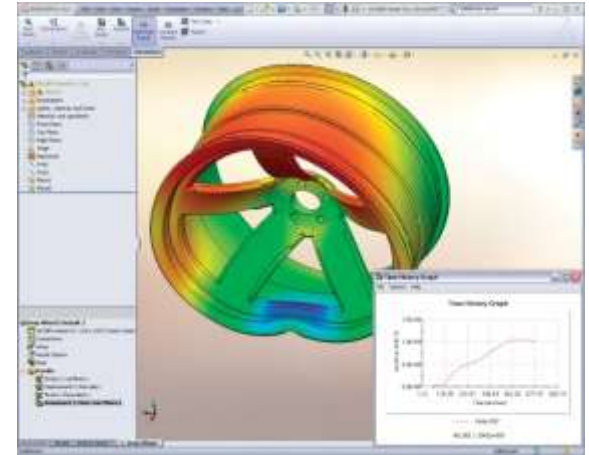


Bild: Quelle: SolidWorks

Grundlagen – FEM

(Finite Elemente Methode)

Simulationen werden für viele verschiedene Fragestellungen eingesetzt.

- Dimensionierung von Bauteilen
- Optimierung von Produkten (Masse)
- Beurteilung des Strömungsverhaltens
- Beurteilung des thermischen Verhaltens
- Rekonstruktion von Schadensfällen
- Produktdokumentation im Rahmen von Zulassungsverfahren

Die weiteren Betrachtungen beschränken sich auf den Bereich der FEM für Probleme der Festigkeitslehre.

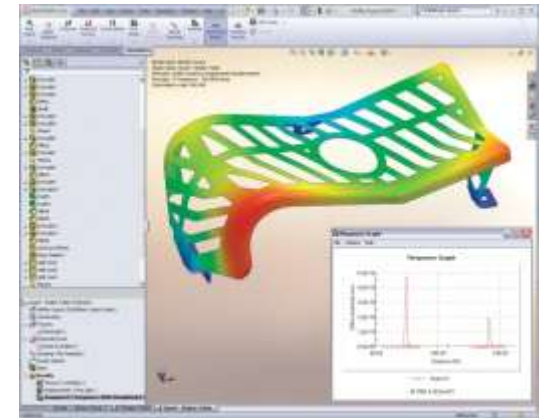


Bild: Quelle: SolidWorks

Grundlagen – FEM

(Finite Elemente Methode)

Die Finite Elemente Methode ist ein numerisches Verfahren, welches für die Lösung von Problemen eingesetzt wird, die sich durch partielle Differentialgleichungen beschreiben lassen.

Bei der FEM handelt es sich um ein **Näherungsverfahren**. Sie ist das Standardverfahren für die rechnergestützte Festkörpersimulation. Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt von mehreren Faktoren ab. Eine verlässliche Bewertung der Ergebnisse erfordert ein fundiertes Verständnis der Methode.

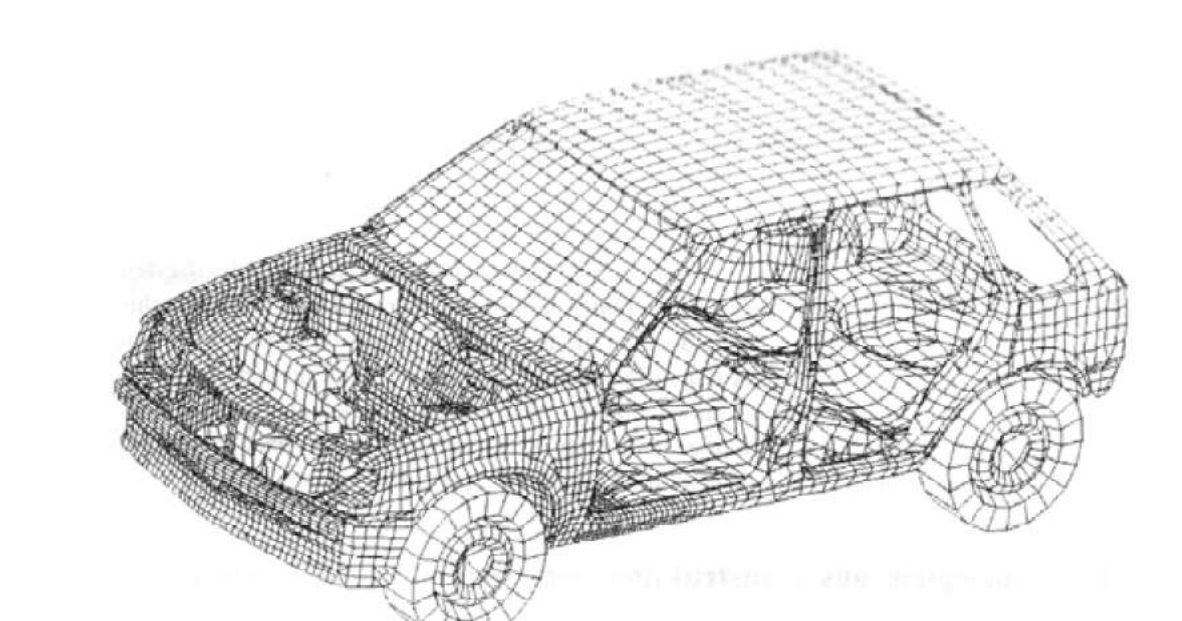
Das Prinzip des Verfahrens beruht in der Unterteilung des zu untersuchenden Bereiches (der zu analysierenden Geometrie) in eine große Anzahl von primitiven Ersatzelementen. Diese Elemente haben eine endliche Größe (Finite Elemente). Für jedes der Elemente wird eine Ansatzfunktion zur Bestimmung der Zielgröße (beispielsweise der Verschiebung in Folge einer Krafteinwirkung) eingesetzt. Die Ansatzfunktionen der Einzelemente werden zu einem Gesamtgleichungssystem gekoppelt, welches sich numerisch lösen lässt.

Die Gesamtheit der Ersatzelemente wird als **Netz** bezeichnet; dementsprechend wird der Vorgang als Vernetzung bezeichnet.

- Problem: bereits wenig-komplexe Körper lassen sich nicht exakt berechnen
- Lösung: beliebig komplexe Strukturen werden mittels eines **Netzes** aus endlich großen, standardisierten **Einzelementen** darstellen (finite Elemente), die an den Elementrändern über **Knoten** miteinander verknüpft sind
- nach der Vernetzung wird unter Berücksichtigung von **Anfangs-** und **Randbedingungen** der physikalische Sachverhalt formuliert
- dabei beschränkt man sich zur Verringerung des Aufwandes auf die aussagekräftigen Knotenpunkte, deren Informationen in einem Gleichungssystem zusammengefasst werden
- dieses Gleichungssystem lässt sich mit relativ wenig Aufwand lösen, indem man einfache Berechnungsansätze wählt, wie zum Beispiel einen linearen Ansatz für die Verschiebung
- die Ergebnisse dieser Analyse werden dann schließlich in Listenform oder als Farbplots ausgegeben

Beispiel: Vernetzung eines Fahrzeugs:

- 19058 Elemente
- 17939 Knoten



- Eine FE-Analyse liefert kein exaktes Ergebnis, sondern ist lediglich eine Näherungslösung!
- durch die Idealisierung, die Vernetzung und die Wahl des Berechnungsansatzes können die Ergebnisse zum Teil stark vom realen Bauteilverhalten abweichend
- IMMER eine Plausibilitätskontrolle der Ergebnisse durchführen
- Interpretation der Ergebnisse erforderlich

Eine FE-Analyse lässt sich in drei Abschnitte unterteilen:

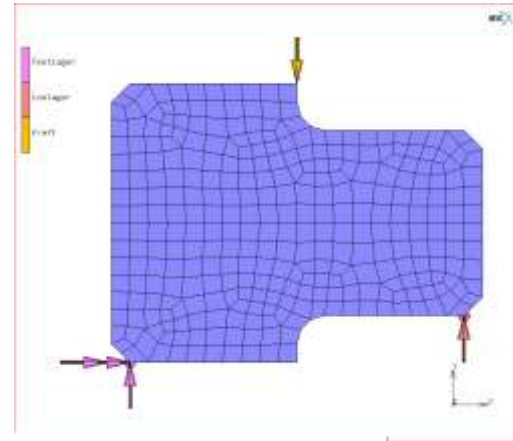
- **Preprocessing** = Datenaufbereitung oder Modellerstellung
- **Solving** oder Solution = Berechnung
- **Postprocessing** = Ergebnisaufbereitung

Diese Aufteilung ist sinnvoll, da die Modelldaten (die im Preprocessing eingegeben werden) eigentlich immer unveränderlich sind, selbst wenn verschiedene Lasten oder Randbedingungen auf das Bauteil einwirken. Daher ist es schlüssig diese Daten zuerst einzugeben und zu sichern, so dass dann damit verschiedene Berechnungen durchgeführt werden können.

Außerdem hat sich in der Praxis gezeigt, dass diese Struktur am wenigsten fehleranfällig ist. Moderne CAD/CAE-Systeme integrieren die einzelnen Schritte in einer einheitlichen Benutzeroberfläche. So wird in aller Regel kein „neues“ FE-Modell erstellt, sondern ein vorhandenes CAD-Modell aufbereitet.

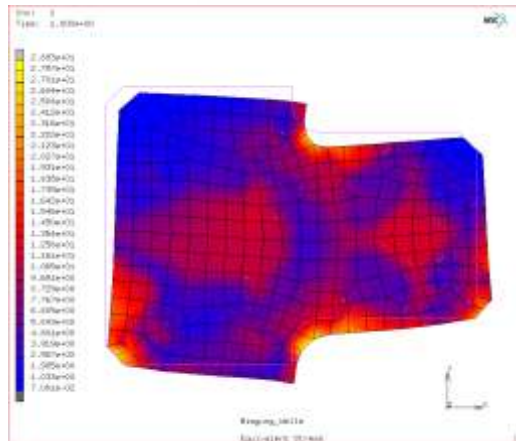
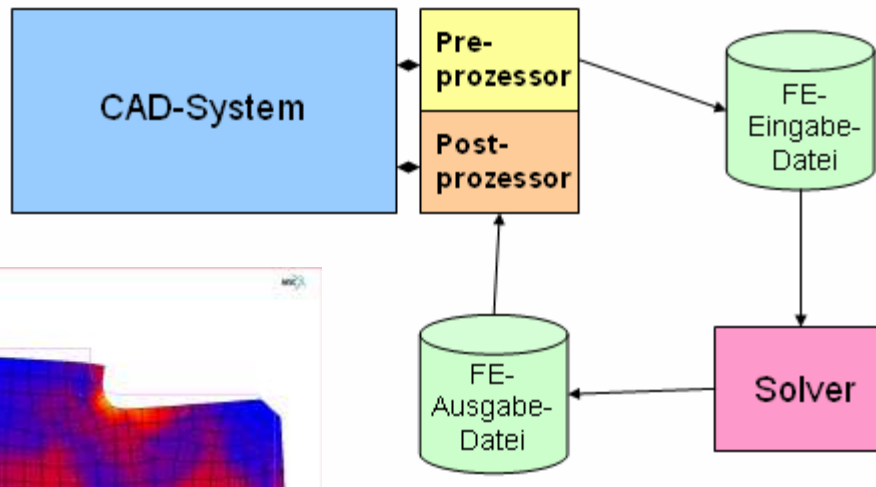
Auch die Darstellung der Ergebnisse im Postprocessing erfolgt in der Benutzeroberfläche des CAD-Systems.

3D CAD Modell



Preprocessing:

- Vernetzung
- Anfangsbedingungen
- Randbedingungen
- Belastungen



Postprocessing:

- Darstellung der Ergebnisse
- z.B.: Verformungen, Spannungen

Beim Preprocessing werden dem Programm die Bauteilgeometrie mit den notwendigen Abmessungen, die Materialdaten und die Netzstruktur mit den erforderlichen Zusatzdaten beschrieben.

Rechenaufwand und Ergebnisgüte werden maßgeblich im Preprocessing definiert.

Ablauf:

- Idealisierung
- Auswahl der Analyseart
- Auswahl der Elementtypen
- Eingabe der Materialdaten
- Geometrieerstellung und Vernetzung

Idealisierung

Zur Minimierung des Rechenaufwandes werden sämtliche Einzelheiten die bei der Analyse vernachlässigt werden können nicht berücksichtigt.

D.h. man approximiert die Bauteilgeometrie, vernachlässigt unwichtige Details, nutzt Symmetrien aus und nährt später die Lagerbedingungen und Belastungen an.

-> gewisses Maß an Erfahrung erforderlich

Auswahl der Analyseart


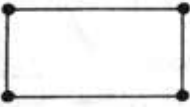
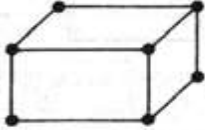
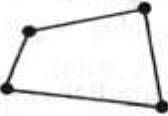


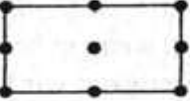
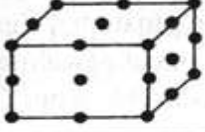


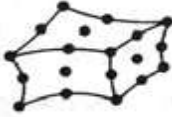

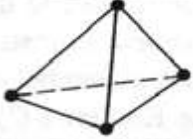
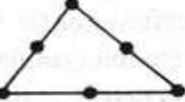
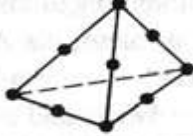

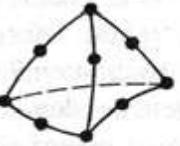
Moderne FE-Programme beinhalten eine große Bandbreite von unterschiedlichen Analyseverfahren, wobei die Strukturanalyse am häufigsten Anwendung findet. Dort werden als primäre Unbekannten die Verschiebungen der Knoten berechnet, von denen dann andere Größen wie Dehnungen, Spannungen oder Reaktionskräfte abgeleitet werden.

Die Strukturanalyse kann wiederum auf unterschiedliche Arten durchgeführt werden, z.B. statisch oder dynamisch.

Auswahl der Elementtypen

- die FE-Analyse wird aufgrund von Knotenpunkten durchgeführt, die die Bauteilgeometrie approximieren
- die Anzahl und Lage dieser Knoten wird durch die Auswahl der Elementtypen und die Vernetzung bestimmt
- es stehen eine Reihe von unterschiedlichen Netz-Elementtypen zur Verfügung, die auch miteinander kombiniert werden können
- die Bezeichnungen der Elementtypen sind in verschiedenen FE-Anwendung meist unterschiedlich. Prinzipiell lassen sich aber unterscheiden:
 - Flächenelemente (2D) z.B. PLANE
 - Volumenelemente (3D) z.B. SOLID
 - Schalenelemente („1,5D“) z.B. SHELL
 - Balkenelemente („1,5D“) z.B. BEAM
 - weitere Elemente (Stäbe, Punktmassen, Dämpfer, Rohrleitungen, ...)

Elementtypen (Beispiele)

| Grundform | eindimensional | zweidimensional | dreidimensional |
|-----------------------------|---|---|--|
| 1. Rechteck |  |  |  |
| 2. schiefwinkeliges Viereck | |  |  |
| 3. Rechteck |  |  |  |
| 4. krummliniges Viereck |  |  |  |
| 5. Dreieck | |  |  |
| 6. Dreieck | |  |  |
| 7. krummliniges Dreieck | |  |  |

Schalen-, Balkenelemente

bestehen aus jeweils nur 2Knoten

werden rechnerintern mit einer Dicke belegt

-> 1,5D

Materialdaten

- in Hinblick auf dem Rechenaufwand werden bei dem Material i.d.R. folgende Einschränkungen getroffen:
 - homogenes Material, d.h. lokale Unterschiede werden nicht berücksichtigt
 - isentropes Material, d.h. gleiche Eigenschaften in alle Raumrichtungen
 - konstanter E-Modul (lineare Analyse)

Geometrieerstellung und Vernetzung

Die Erstellung FE-fähiger Geometriedaten ist bei weitem der größte Aufwand beim Preproc. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten:

- auf CAD-Geometriedaten aufbauen, indem man das CAD-Modell vernetzt

Vorteil: i.d.R. moderater Arbeitsaufwand / Nachteil: eingeschränkte Idealisierung

- ein FE-Modell konstruieren, welches die Bauteilgeometrie annähert

Vorteil: freie Idealisierung / Nachteil: oft erheblicher Arbeitsaufwand

Netzdichte

- Dilemma: mit zunehmender Netzdichte werden meist genauere Ergebnisse erzielt, dies muss jedoch mit einer erheblich größeren Rechenaufwand erkauft werden.
- Lösung:
 - eine überschlägige Berechnung mit einer mittleren Netzdichte durchzuführen die als vernünftig erscheint
 - danach führt man eine Berechnung mit doppelt so vielen Elementen in den kritischen Bereichen durch
 - dies wiederholt man solange bis zwei aufeinander folgende Netze nahezu identische Ergebnisse liefern. Dann ist die Auflösung der Vernetzung ausreichend
 - die adaptive Vernetzung automatisiert diesen Vorgang

- im Solver wird die eigentliche FE-Berechnung durchgeführt, indem das im Preprocessing entstandene Gleichungssystem gelöst wird
- das Auflösen des Gleichungssystems führt zu den Knotenverschiebungen, aus denen anschließend Spannungen, Dehnungen usw. ermittelt werden
- bevor das Programm diese Berechnung durchführen kann, müssen allerdings vom Anwender noch die von Außen auf das Bauteil einwirkenden Einflüsse, wie Lagerungsbedingungen und Belastungen, definiert werden:
 - **Lager:**
 - starre Lager
 - nachgiebige Lager
 - Lager mit vorgegebener Verschiebung
 - **Belastungen:**
 - konzentrierte Einzelkräfte- oder Momente
 - Drücke und Streckenlasten
 - Eigengewicht
 - Beschleunigungskräfte

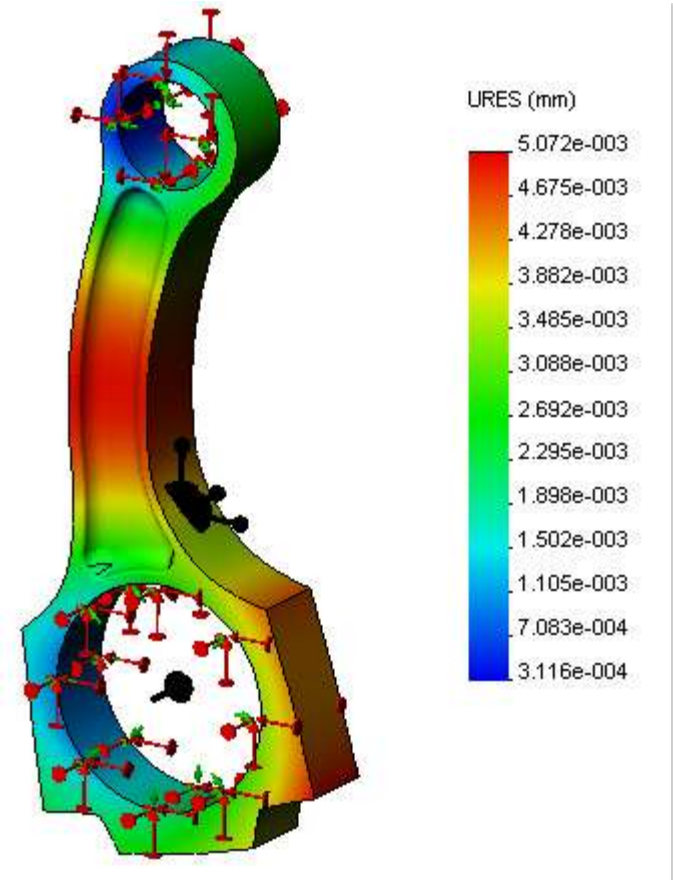
Darstellung der Ergebnisse der FE-Analyse.

Die Auswertung erfolgt entweder in numerischer oder grafischer Form.

Studienname: Frame-91
 Einheit: mm Schrittnummer: 1
 Ausgewählte Referenz: Nicht zutreffend

| Knoten | X (mm) | Y (mm) | Z (mm) | URES (mm) |
|--------|----------|---------|----------|--------------|
| 1906 | 6.46325 | 85.0838 | 0.266242 | 4.83386e-003 |
| 8427 | 5.16464 | 65.3916 | 3.16558 | 4.83400e-003 |
| 1475 | -8.91608 | 62.2133 | -10 | 4.83436e-003 |
| 892 | -8.91608 | 62.2133 | 10 | 4.83442e-003 |
| 6917 | -8.61374 | 84.6143 | 4.09059 | 4.83467e-003 |
| 3660 | -7.07265 | 84.6412 | -1.01999 | 4.83520e-003 |
| 2098 | -7.07265 | 84.6412 | 1.43379 | 4.83549e-003 |
| 6497 | -7.37066 | 85.3867 | 7.57156 | 4.83569e-003 |
| 8210 | -3 | 85.3867 | 5 | 4.83586e-003 |

Schließen Speichern Hilfe



da die FE-Analyse eine Näherungslösung ist, ist es ratsam, die Ergebnisse immer auf Plausibilität zu prüfen und eine Fehlerabschätzung vorzunehmen

In SolidWorks sind verschiedene Arten der Simulation enthalten. Ein SolidWorks Modell kann innerhalb von SolidWorks analysiert werden. Die Simulation erfolgt mit Hilfe der Finite Elemente Methode (FEM).

SolidWorks unterstützt die nebenstehenden Arten von Analyse:

- **Lineare statische Analyse**
- **Frequenzanalyse**
- **Dynamische Analyse**
- **Linearisierte Knickanalyse**
- **Thermische Analyse**
- **Nicht-lineare Analyse**
- **Fallprüfungsanalyse**
- **Ermüdungsanalyse**
- **Konstruktionsstudien**
- **Druckbehälterkonstruktion**
- **Balken und Stäbe**

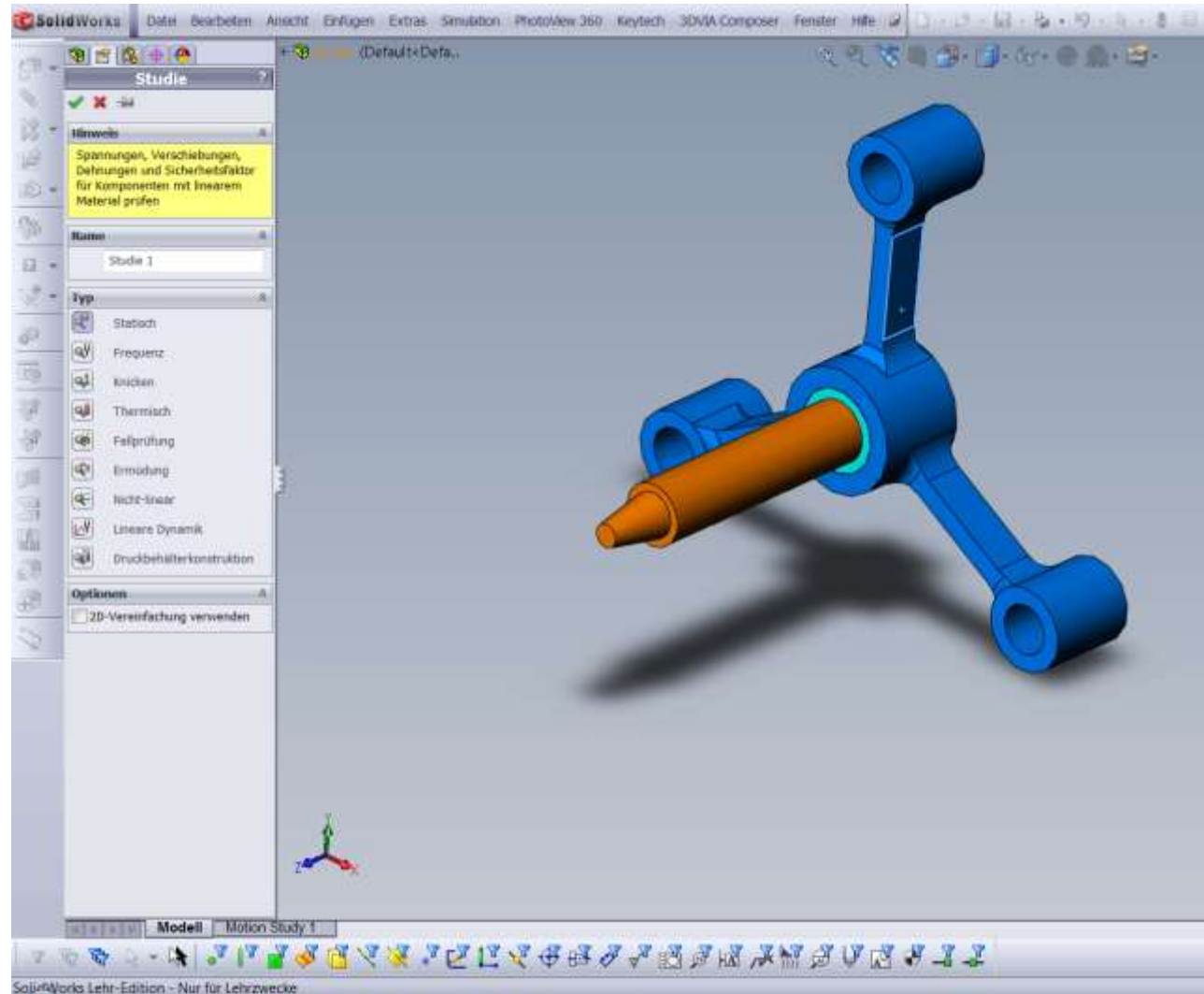
Quelle: SolidWorks

Nach dem Öffnen der zu untersuchenden
Baugruppe / des Einzelteils:

Simulation -> Studie

Typ der Studie auswählen:

Statisch



Simulationsmanager

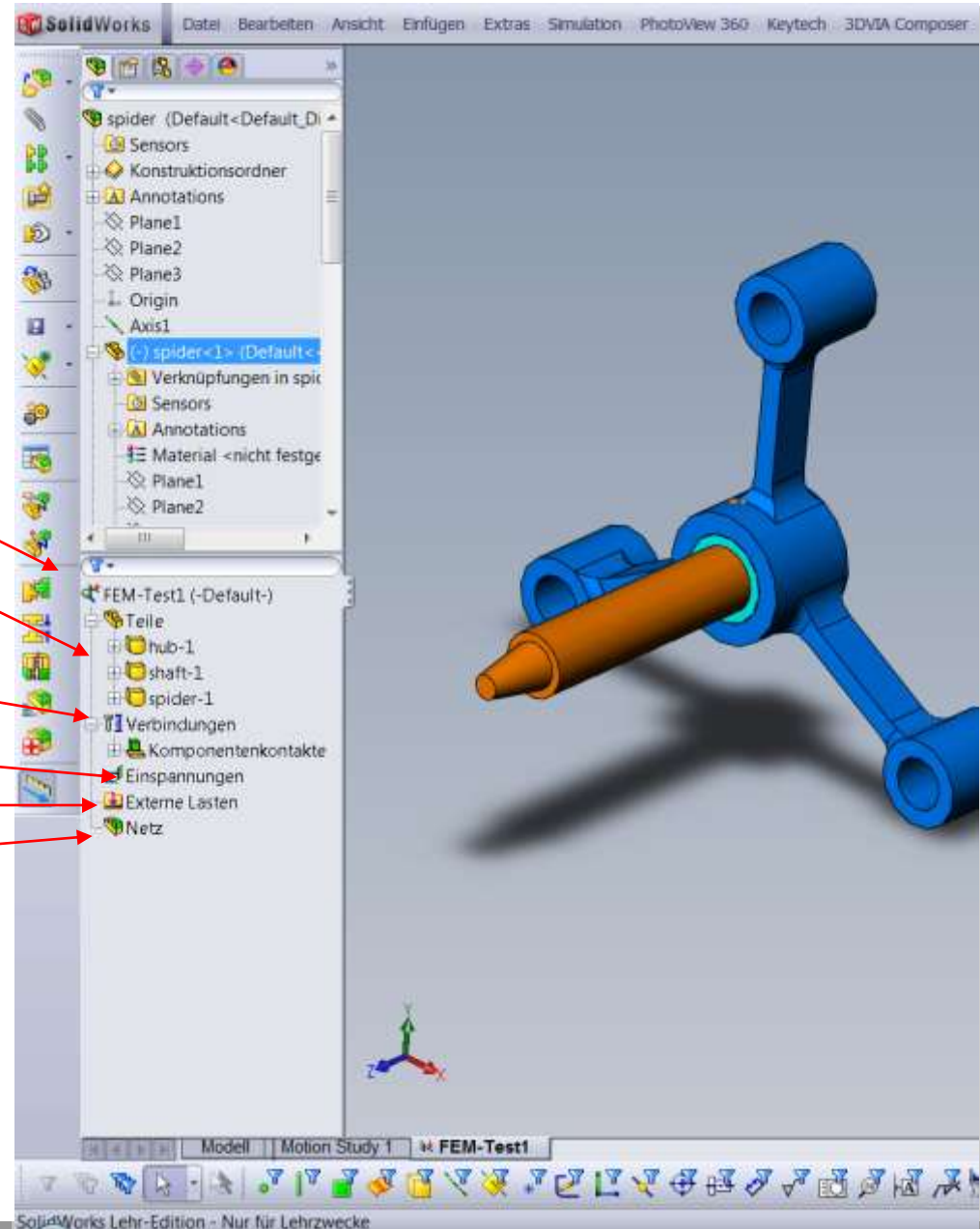
**Teilestruktur
mit Kontaktdefinition**

Verbindungen

Einspannungen / Randbedingungen

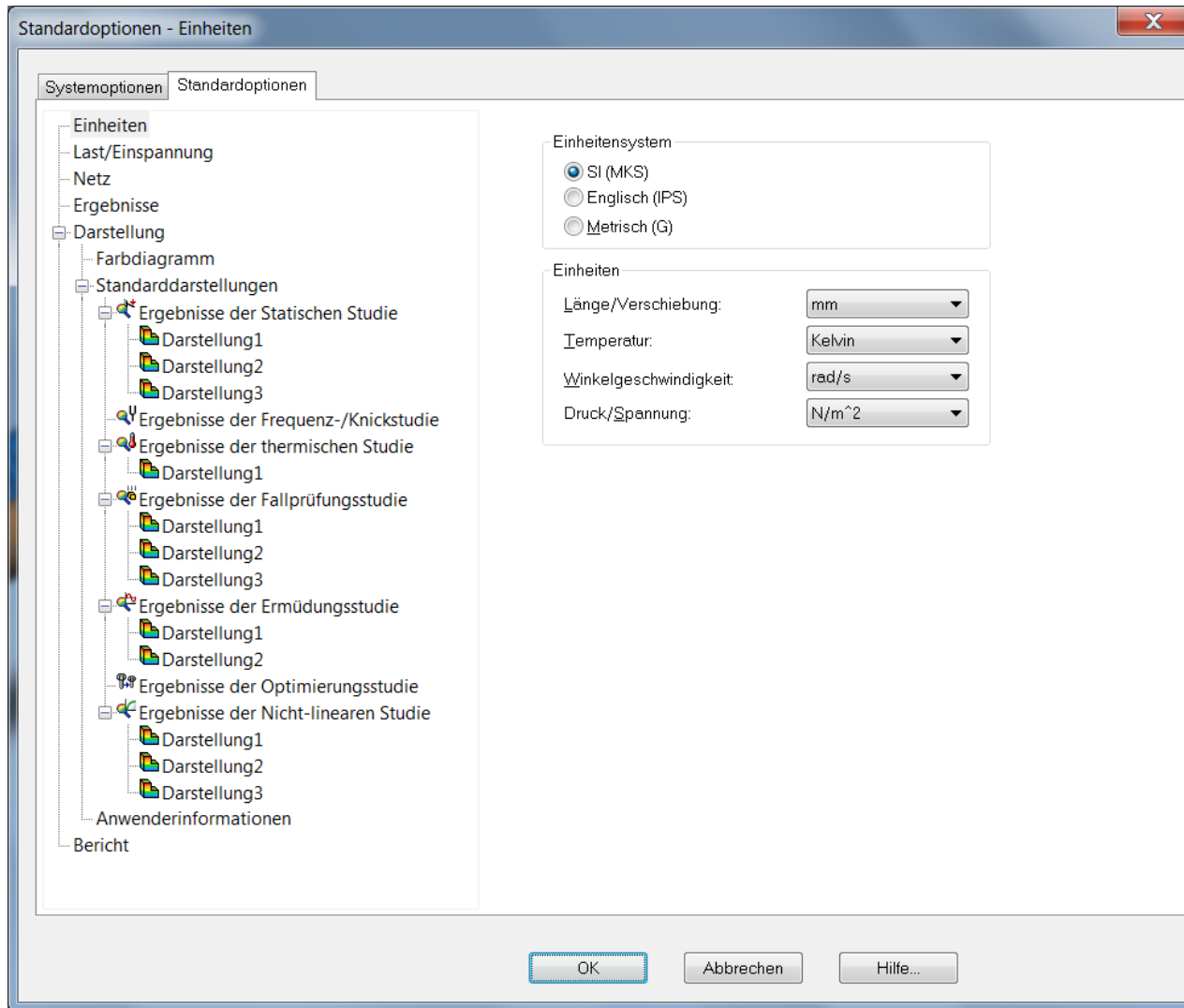
Externe Lasten / Belastungen

Netz



Auswahl der Optionen für Simulation:

Simulation -> Optionen -> Standardoptionen



Material zuweisen:

Im Simulationsmanager: RMT -> Material zuweisen

Material

solidworks materials

- Stahl
 - 1023 Kohlenstoffstahlblech (SS)
 - 201 Gehärteter Edelstahl (SS)
 - A286 Eisen-Superlegierung
 - AISI 1010 Stahl, heißgewalzt
 - AISI 1015 Stahl, kaltgezogen (SS)
 - AISI 1020
 - AISI 1020 Stahl, kaltgewalzt
 - AISI 1035 Stahl (SS)
 - AISI 1045 Stahl, kaltgezogen
 - AISI 304
 - AISI 316 Gehärteter Edelstahlstab (SS)
 - AISI 316 Edelstahlstab (SS)
 - AISI 321 Gehärteter Edelstahl (SS)
 - AISI 347 Gehärteter Edelstahl (SS)
 - AISI 4130 Stahl, gehärtet bei 865C
 - AISI 4130 Stahl, normalisiert bei 870C
 - AISI 4340 Stahl, gehärtet
 - AISI 4340 Stahl, normalisiert
 - AISI Typ 316L Edelstahl
 - AISI Type A2 Werkzeugstahl
 - Legierter Stahl**
 - Legierter Stahl (SS)
 - ASTM A36 Stahl
 - Niedriglegierter Stahlguss
 - Wärmefester Stahlguss
 - Rostfreier Stahlguss
 - Rostfreier Chromstahl
 - Verzinkter Stahl
 - Unlegierter Baustahl
 - Rostfreier Stahl (ferritisch)
 - Rostfreier Schmiedestahl
- Eisen
- Aluminiumlegierungen
- Kupferlegierungen
- Titanlegierungen

Eigenschaften | Tabellen & Kurven | Erscheinungsbild | Schraffur | Benutzerdefiniert | Anwendungsdaten | Favoriten

Materialeigenschaften

Materialien in der Standardbibliothek können nicht bearbeitet werden. Sie müssen das Material zuerst in eine Anwenderbibliothek kopieren, um es bearbeiten zu können.

Modelltyp:

Einheiten:

Kategorie:

Name:

Standardversagenskriterium:

Beschreibung:

Quelle:

Nachhaltigkeit:

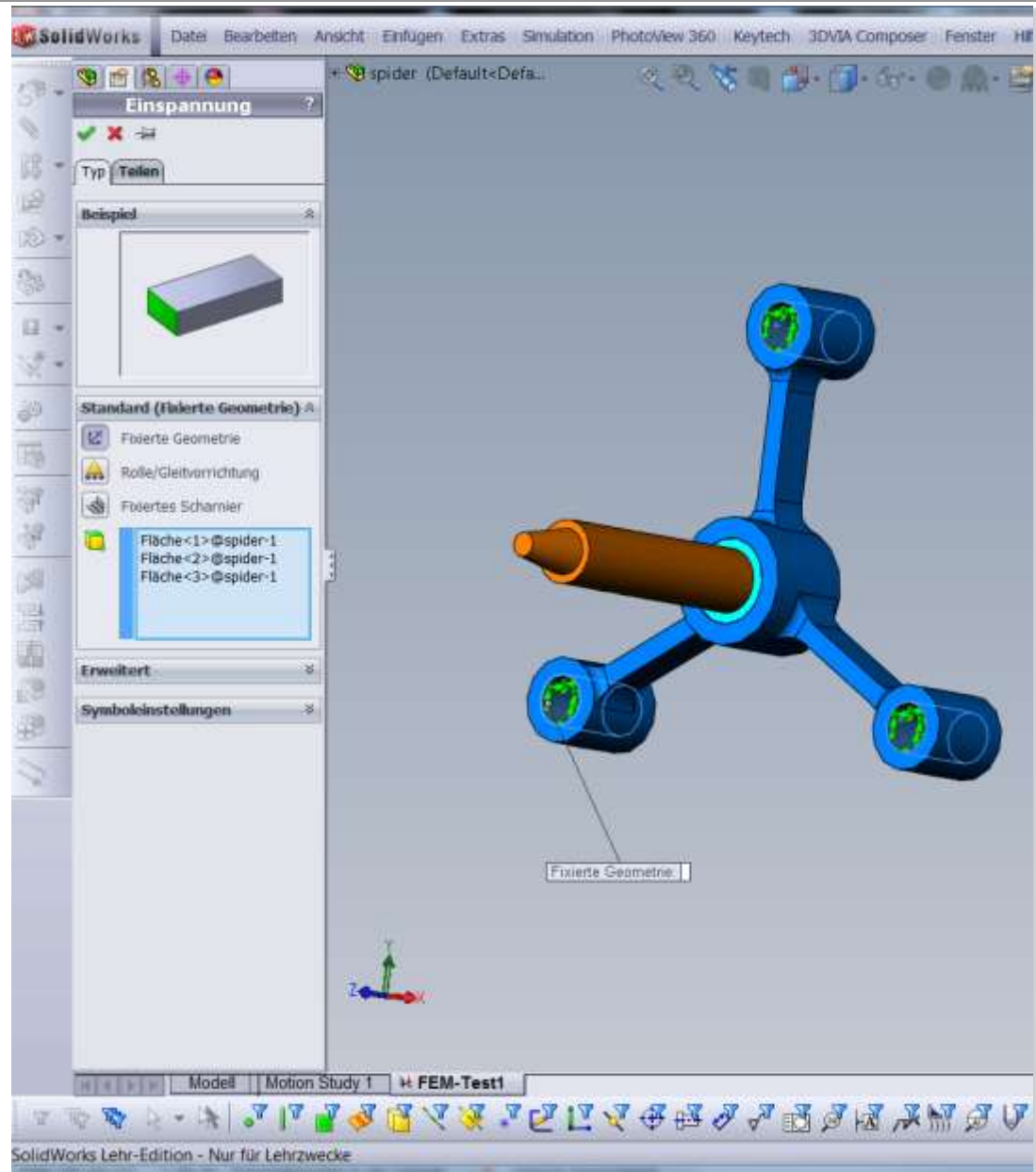
| Eigenschaft | Wert | Einheiten |
|-----------------------------|-----------|------------------|
| Elastizitätsmodul | 2.1e+011 | N/m^2 |
| Poissonsche Zahl | 0.28 | Nicht zutreffend |
| Schubmodul | 7.9e+010 | N/m^2 |
| Dichte | 7700 | kg/m^3 |
| Zugfestigkeit | 723825600 | N/m^2 |
| Druckfestigkeit in X | | N/m^2 |
| Fließgrenze | 620422000 | N/m^2 |
| Wärmeausdehnungskoeffizient | 1.3e-005 | /K |
| Wärmeleitfähigkeit | 50 | W/(m·K) |
| Spezifische Wärme | 460 | J/(kg·K) |
| Materialdämpfungsverhältnis | | Nicht zutreffend |

Anwenden | Schließen | Speichern | Konfiguration... | Hilfe

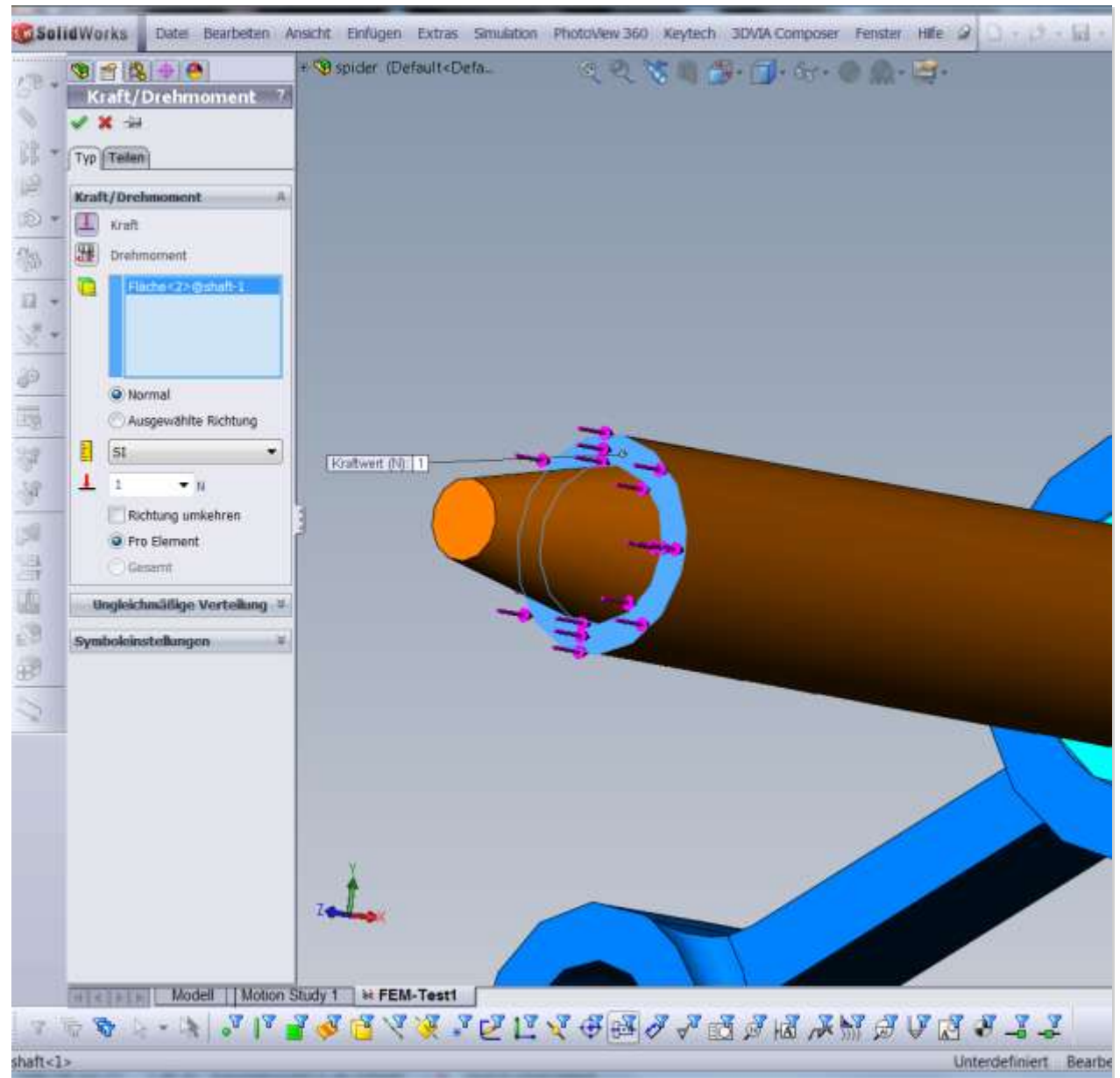
Randbedingungen hinzufügen:

Im Simulationsmanager:

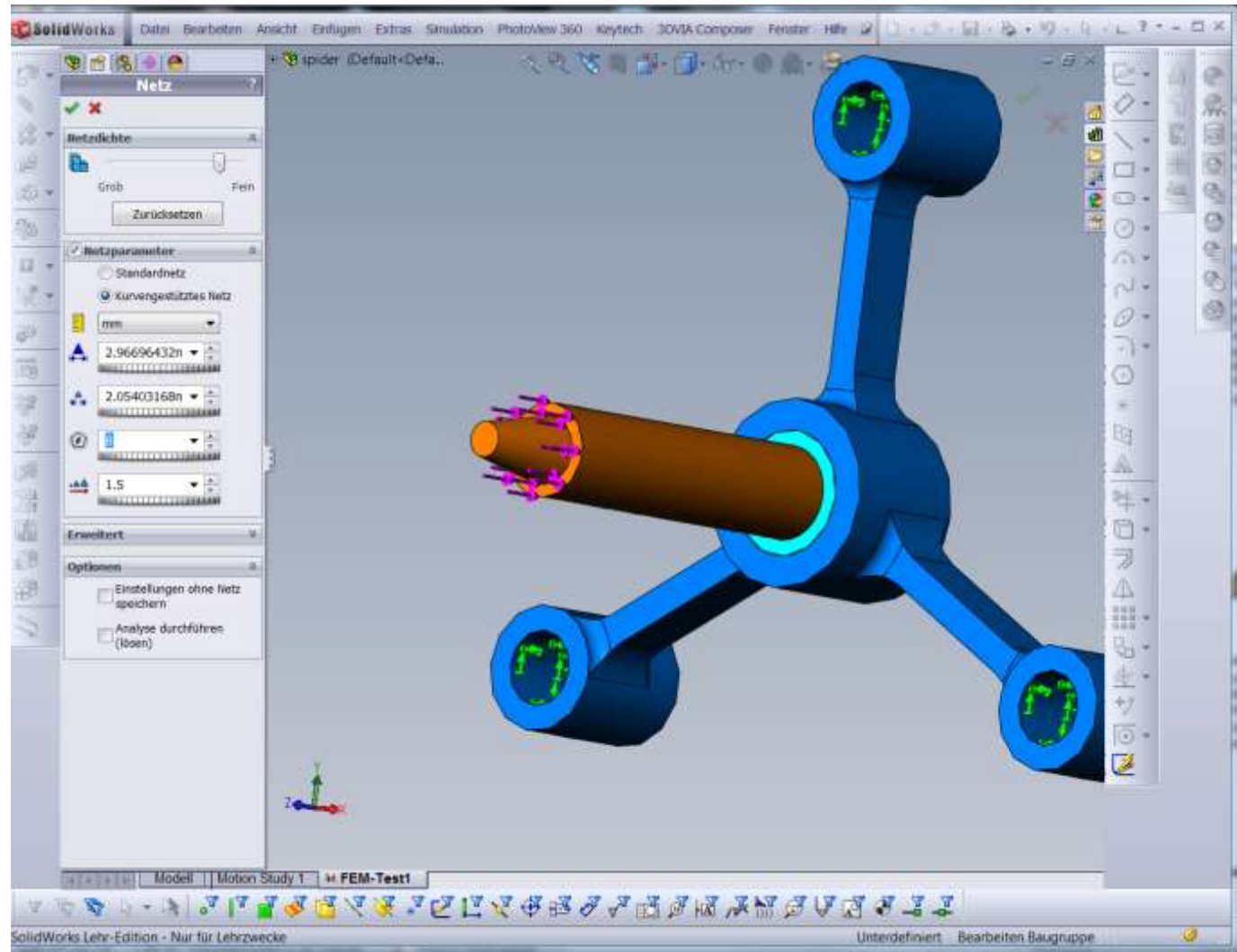
Einspannungen > Fixierte Geometrie



Belastung hinzufügen:
Im Simulationsmanager:
Externe Lasten -> Kraft



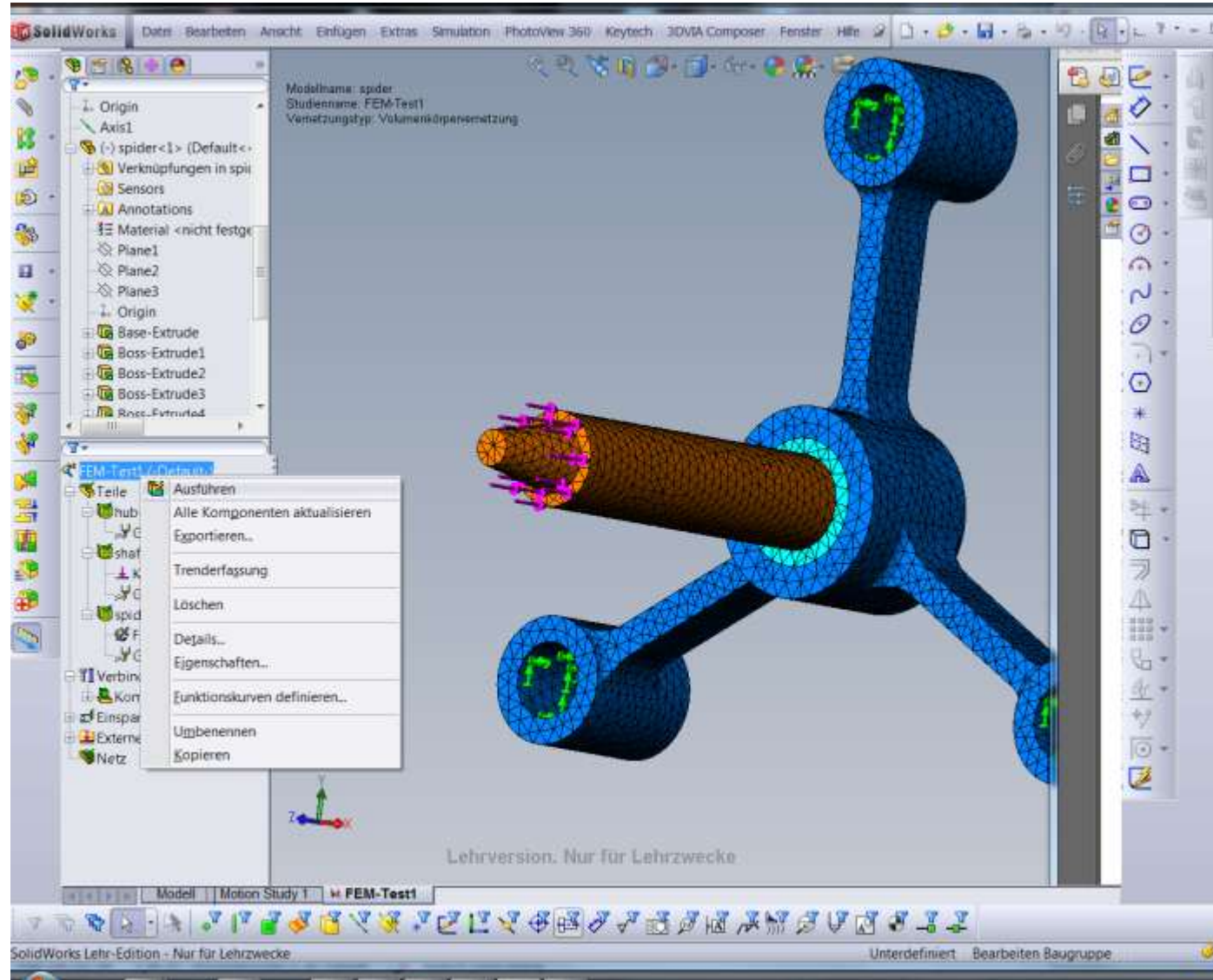
Belastung hinzufügen:
Im Simulationsmanager:
Netz -> Netz erstellen



Damit ist das Modell für die FE-Analyse definiert.

Die Analyse wird gestartet durch:

Simulationsmanager ->
RMT -> Ausführen

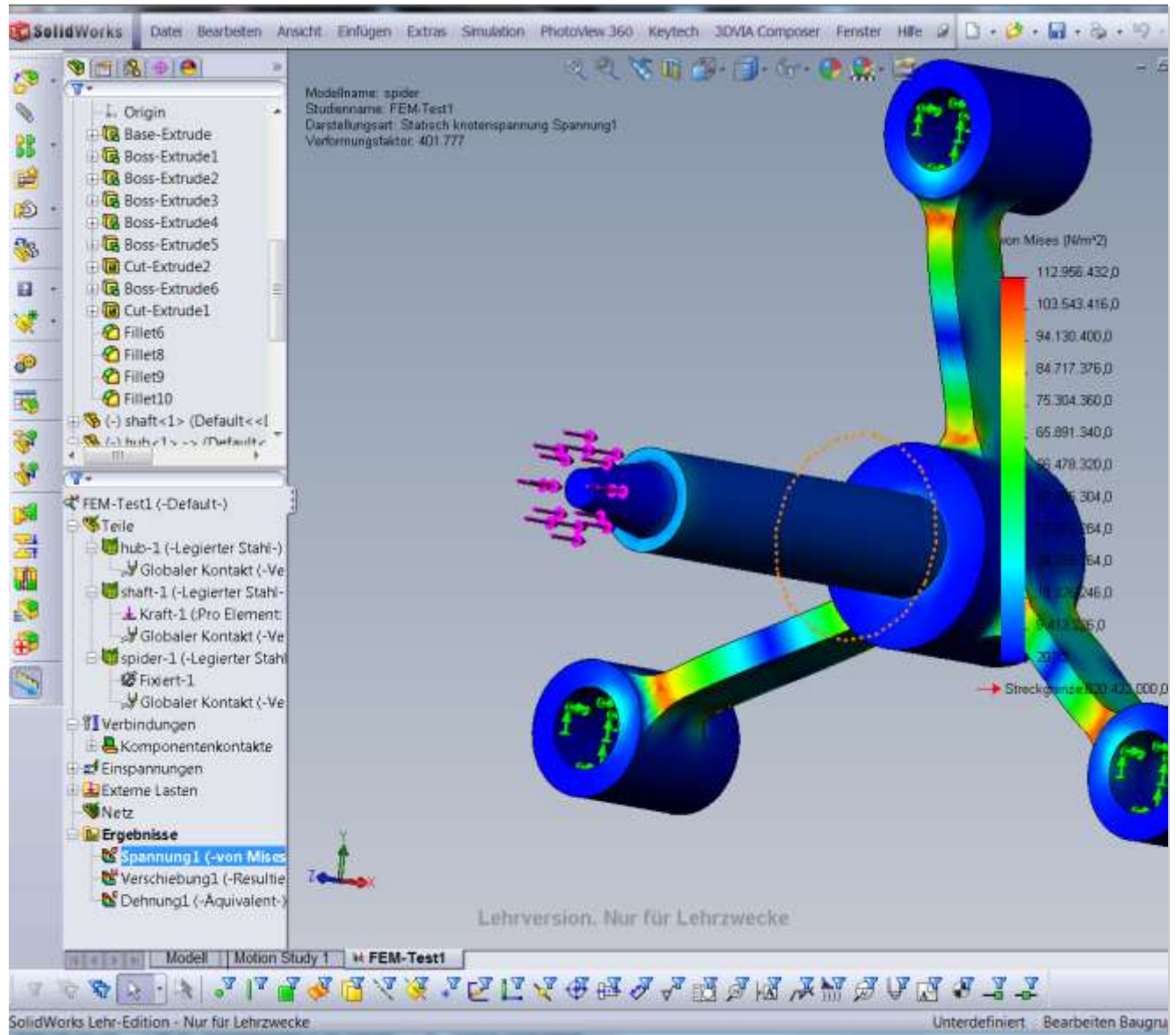


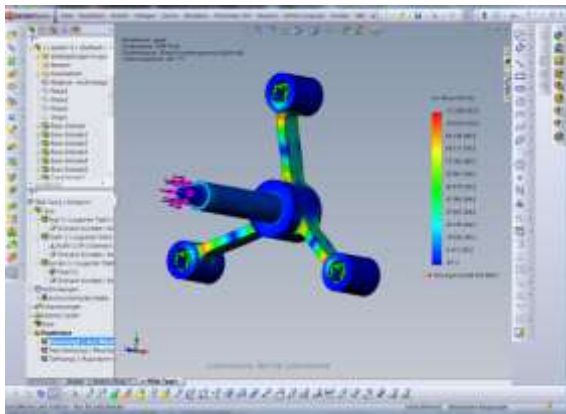
Nach erfolgter Berechnung wird im Simulationsmanager der Ordner Ergebnisse aufgeführt.

Standardmässig sind grafische Darstellungen für verschiedene Größen vorhanden.

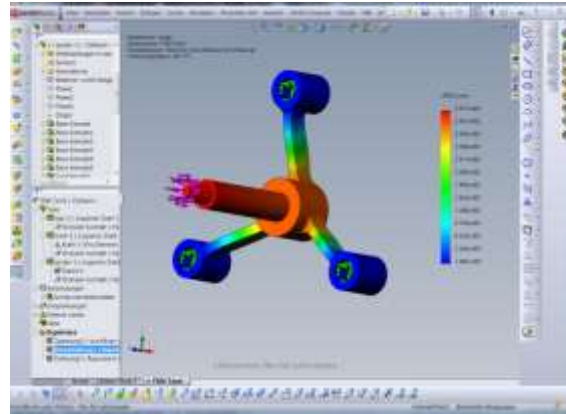
Im Falle einer statischen Festigkeitsanalyse sind dies:

- Spannung
- Verschiebung
- Dehnung

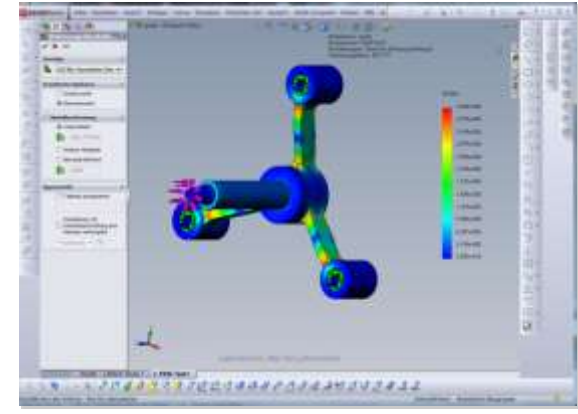




Spannung



Verschiebung



Dehnung



Ende

